



Diogo Filipe Couceiro Pereira

Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

Avaliação da influência do estado de soldaduras aluminotérmicas no nivelamento longitudinal de vias-férreas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia Civil - Perfil de Estruturas

Orientador: Doutor José Nuno Varandas da Silva Ferreira,
Professor Auxiliar, FCT/UNL

Co-orientador: Engenheiro João Vieira, Infraestruturas de Portugal

Júri:

Presidente: Professor Doutor Nuno Manuel da Costa Guerra

Arguente: Professora Doutora Simona Fontul

Vogal: Professor Doutor José Nuno Varandas da Silva Ferreira



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro de 2017

Avaliação da influência do estado de soldaduras aluminotérmicas no nivelamento longitudinal de vias-férreas

“Copyright” Diogo Filipe Couceiro Pereira, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A presente dissertação de mestrado foi desenvolvida na Infraestruturas de Portugal por meio de estágio, sob a orientação do Engenheiro João Vieira, Gestor da unidade de inspeção e diagnóstico de via e catenária da Infraestruturas de Portugal. A mesma só foi possível realizar com o apoio de várias pessoas a quem eu gostaria de deixar uma palavra de agradecimento por toda a ajuda no desenvolvimento desta dissertação.

Em primeiro lugar agradeço à direção da Infraestruturas de Portugal, por me ter possibilitado a realização de um estágio curricular no âmbito do desenvolvimento do presente trabalho, bem como os intermediários que fizeram os possíveis para a realização do mesmo. Agradeço igualmente à equipa de unidade de inspeção e diagnóstico de via e catenária, pela forma como me acolheram e se disponibilizaram em tudo aquilo que precisei, bem como todo o trabalho que tiveram para recolha e fornecimento de dados e informação. Gostava de agradecer ao Engenheiro João Vieira em especial, por todo o apoio que me deu e a orientação que me forneceu durante a minha estadia na Infraestruturas de Portugal e mesmo já fora desta. Queria também agradecer ao Engenheiro Rui Burrinha, de igual forma, por toda a ajuda que deu neste projeto e à restante equipa que realizou uma inspeção à via, dedicada apenas para este estudo. Queria também deixar um agradecimento a todas as restantes pessoas que me acolheram na IP durante o meu estágio, pelo que foram todas essenciais para a minha integração.

No entanto nada disto teria sido possível sem o incentivo e o apoio do meu orientador, o Doutor José Nuno Varandas da Silva Ferreira, que me sugeriu o tema da dissertação, bem como me propôs a realização de um estágio curricular. Agradeço a orientação e o acompanhamento deste trabalho assim como toda a ajuda fornecida e disponibilidade que apresentou durante este percurso e também a aposta que teve em mim. Estas palavras são curtas para demonstrar a minha gratidão, pelo que lhe deixo um sincero obrigado.

As últimas palavras de agradecimento vão naturalmente para a minha família, por todo o apoio que me deram ao longo de todo este percurso académico e a possibilidade de realizar o mesmo. No entanto, gostaria de deixar uma palavra em especial à minha namorada Inês Antunes, por me ter ajudado imenso durante a fase final deste percurso.

Resumo

As soldaduras de carris de vias-férreas sendo geralmente as soldaduras aluminotérmicas, podem representar pontos irregulares da cabeça do carril que dá origem a cargas de impacto aquando da passagem dos veículos ferroviários. Deste modo, é em muitos casos observado que os locais de soldadura coincidem com zonas de degradação mais acelerada do nivelamento da via, havendo o sentimento generalizado por parte dos gestores de via de que há uma relação estreita entre soldaduras mal executadas e problemas de nivelamento de via a longo-prazo. É um exemplo concreto a observação de desgaste ondulatório acentuado na proximidade de uma soldadura, podendo ter origem no impacto criado com a passagem do comboio pela mesma. Este "sentimento" carece no entanto de comprovação quantificada, ao que este trabalho procura dar resposta.

A presente dissertação analisa algumas questões acerca da influência das soldaduras nas ferrovias, concretamente analisando a evolução que o nivelamento na zona de uma soldadura tem ao longo do tempo, tendo como base dados de inspeções obrigatórias e periódicas não específicas para este estudo em questão. Além disto são também analisadas várias amostras de soldaduras presentes num troço de via, tendo como informação o seu estado inicial após a sua execução e também o seu estado atual. Com isto, consegue-se analisar a soldadura num período desde a sua execução até ao presente. Este estudo tem como objetivo dar início a uma investigação importante, que permitirá a criação de uma primeira metodologia de análise que consiga expandir o conhecimento para investigações futuras. É expectável que sejam conseguidos resultados que possam contribuir para o futuro das ferrovias assim como melhorar a análise destas e consequentemente as manutenções e conservações. No fim deste estudo são analisadas várias soldaduras, com as respetivas conclusões e sugestões de futuras investigações.

Palavras chave: Soldaduras aluminotérmicas; Nivelamento longitudinal; Nivelamento D1; Ferrovia, Desvio Padrão

Abstract

The rail welds of railways, which are generally aluminothermic welds, frequently present irregularities at the rail head, as localized depressions, giving rise to impact loads with the passage of the railway vehicles. Consequently, it is in many cases observed that rail weld locations coincide with areas of accelerated degradation of the track longitudinal level. In fact, it is referred by railway track managers that there is a close relation between badly executed rail welds and long-term problems in terms of track geometry. A specific example corresponds to the frequent observation of significant rail corrugation on the proximities of a rail weld, which may originate from the impact created by the passage of the train through it.

The present dissertation analyses some questions about the influence of the rail welds on the railway track geometry. Specifically, the evolution of the rail weld level over time is confronted with the corresponding evolution of the track longitudinal level at the same location, at several selected rail welds on a stretch of a railway track from the Portuguese railway network. At the end of this study several welds are analysed, with the respective conclusions and suggestions for future investigations.

Key words: Aluminothermic Welds; Longitudinal Level; Longitudinal Level D1; Railway; Standard Deviation

Índice de Matérias

Copyright	i
Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xvii
Lista de Símbolos e Abreviaturas	xix
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento do Tema	1
1.2 Motivação	2
1.3 Objetivos do Trabalho	4
1.4 Estrutura da Dissertação	4
2 Estrutura e Funcionamento da Via Férrea	7
2.1 Considerações Gerais e Principais Componentes da Via Férrea . .	7
2.2 Qualidade Geométrica da Via	20
2.2.1 Parâmetros da Geometria da Via	21

2.2.2	Métodos de Inspeção da IP, S.A.	24
2.2.3	Limites para Intervenções na Via	30
3	Soldaduras de Carril	33
3.1	Tipos de Soldadura	33
3.2	Soldadura Aluminotérmica	36
3.2.1	Execução	36
3.2.2	Fiscalização - Normas de avaliação do Nivelamento de Soldaduras	43
3.2.3	Comportamento e vida útil	45
4	Desgaste da via na zona das soldaduras	49
4.1	Descrição genérica dos dados da via analisados	49
4.2	Casos de estudo a analisar	52
4.3	Trabalhos executados e processos de análise	53
4.3.1	Localização das Soldaduras	53
4.3.2	Análise do nivelamento longitudinal na gama 1m - 3m	55
4.3.3	Escolha do parâmetro de análise da evolução do nivelamento longitudinal	57
4.4	Análise e Resultados dos casos de estudo	64
5	Considerações Finais	75
5.1	Principais Conclusões	75
5.2	Desenvolvimentos Futuros	76
	Bibliografia	77
A	Casos de estudo - Apresentação de Resultados	81
A.1	Introdução	81
A.1.1	Soldaduras Conformes	81
A.1.2	Soldaduras não Conformes	101

Índice de Figuras

1.1	a) Nivelamento D1+D2, b) Nivelamento filtrado [1m-3m] obtido de a)	3
1.2	Nivelamento filtrado com espaçamentos analisados	3
2.1	Esquema base de uma via balastrada: a)perfil longitudinal; b) perfil transversal (Fortunato, 2005 (Selig e Waters, 1994), adaptado). . . .	9
2.2	Perfil do tipo Vignole: Transversal (à esquerda)(Neves, 2010) e Longitudinal (à direita)(Fontul e Neves, 2015).	10
2.3	Imagem representativa de uma fixação de um carril a uma travessa (Vossloh, 2017).	11
2.4	Tipo de travessas de betão (Vale, 2010)	12
2.5	Diferentes soluções de via não balastrada (Paixão e Fortunato, 2009)	19
2.6	Diversas conceções de via em laje (Paixão e Fortunato, 2009) . . .	20
2.7	Representação esquemática da medição da bitola (EN13848-5, 2008)	22
2.8	Representação esquemática da medição do nivelamento longitudinal (EN13848-5, 2008)	22
2.9	Representação esquemática da medição do nivelamento transversal (EN13848-5, 2008)	23
2.10	Alinhamento (EN13848-5, 2008)	24
2.11	Definição de empeno (EN13848-5, 2008)	24
2.12	Veículo de inspeção geométrica da via EM-120 (IP, S.A.)	25
2.13	IMU (Inercial Measuring Unit), adaptado (Simão, 2014 (Baldeiras, 2013)	26
2.14	GMS (Gauge Measuring System)	27

2.15 Cabine de Condução e computadores de armazenamento e tratamento de dados, adaptado (Rodrigues, 2012 e Fontul e Neves, 2015)	27
2.16 Gráfico dos parâmetros geométricos (Fontul e Neves, 2015)	28
2.17 RMF - auscultador de geometria de via e desgaste ondulatório (Miguel, 2015 (IP, S.A., 2011))	28
2.18 Régua SECNET (Prosutec, 2013)	29
2.19 Tipo de usabilidade da régua SECNET, em a) para medição do nivelamento e em b) para medição do alinhamento (Prosutec, 2013).	30
2.20 Gráficos obtidos das medições da régua, em a) para o nivelamento e em b) para o alinhamento (IP, S.A., 2014)	30
3.1 Imagem representativa de uma BLS - Carril contínuo sem interrupção de material (IP, S.A., 2017).	33
3.2 Soldadura elétrica de carril (Taringa, 2017)	34
3.3 Soldadura aluminotérmica de carril (Mechanical Engineering blog, 2017)	35
3.4 Veículo de execução de soldaduras elétricas de carril (Plasser and Theurer, 2017).	36
3.5 Embicamento (Porsol, 2002)	39
3.6 Alinhamento (Porsol, 2002)	39
3.7 Inclinação (Porsol, 2002)	40
3.8 Molde para execução de soldadura aluminotérmica (Interempresas, 2017)	41
3.9 Representação dos diferentes casos de ΔN máximos, positivos e negativos (IP, S.A., 2015)	45
4.1 Nivelamento filtrado com PK por ajustar	54
4.2 Nivelamento filtrado com PK ajustado	55
4.3 Nivelamento Longitudinal obtido com RMF e EM-120, com comprimentos de onda [1m - 3m]	56
4.4 RMF vs EM-120, com comprimentos de onda [1m - 3m], linhas verticais vermelhas indicam zonas com soldaduras, linha vertical amarela indica zona com início de AMV	57

4.5	Nivelamento topográfico de um caso na Holanda em a) e em b) a respectiva filtragem D1	58
4.6	Nivelamento topográfico de um caso na Holanda em a) e em b) a respectiva filtragem D2	59
4.7	Nivelamento topográfico de um caso na Holanda em a) e em b) o resultado do desvio padrão de a)	60
4.8	Nivelamento topográfico D1 de um caso na Holanda em a) e em b) o resultado do desvio padrão de a)	61
4.9	Desvio padrão do nivelamento da via em a) e em b) o desvio padrão do respectivo nivelamento D1	62
4.10	Ajuste de duas inspeções seguidas usando resultados de comprimentos de onda D1	63
4.11	Metodologia de análise da evolução do desvio padrão do nivelamento longitudinal de soldaduras	64
4.12	Caso nº1 - Comparação entre medições de régua, a azul obtida em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	65
4.13	Caso nº1 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	66
4.14	Caso nº1 - Gráfico da evolução desvio padrão	67
4.15	Caso nº2 - Comparação entre medições de régua, a azul obtida em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	68
4.16	Caso nº2 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	69
4.17	Caso nº2 - RMF - Nivelamento da cabeça do carril	70
4.18	Caso nº2 - Gráfico da evolução do desvio padrão	70
4.19	Caso nº3 - Comparação entre medições de régua, a azul obtida em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	71
4.20	Caso nº3 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	72
4.21	Caso nº3 - Gráfico da evolução do desvio padrão	72
A.1	Soldadura nº37 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	82

A.2 Soldadura nº37 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	82
A.3 Soldadura nº37 - Gráfico da evolução desvio padrão	83
A.4 Soldadura nº39 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	85
A.5 Soldadura nº39 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	86
A.6 Soldadura nº39 - Gráfico da evolução desvio padrão	86
A.7 Soldadura nº39 - RMF - Nivelamento da cabeça do carril	87
A.8 Soldadura nº54 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	89
A.9 Soldadura nº54 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	89
A.10 Soldadura nº54 - Gráfico da evolução desvio padrão	90
A.11 Soldadura nº70 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	91
A.12 Soldadura nº70 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	92
A.13 Soldadura nº70 - Gráfico da evolução desvio padrão	92
A.14 Soldadura nº71 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	93
A.15 Soldadura nº71 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	93
A.16 Soldadura nº71 - Gráfico da evolução desvio padrão	94
A.17 Soldadura nº80 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	95
A.18 Soldadura nº80 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	96
A.19 Soldadura nº80 - Gráfico da evolução desvio padrão	96
A.20 Soldadura nº91 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	97
A.21 Soldadura nº91 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	97

A.22 Soldadura nº91 - Gráfico da evolução desvio padrão	98
A.23 Soldadura nº107 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	99
A.24 Soldadura nº107 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	99
A.25 Soldadura nº107 - Gráfico da evolução desvio padrão	100
A.26 Soldadura nº52 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	101
A.27 Soldadura nº52 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	102
A.28 Soldadura nº52 - Gráfico da evolução desvio padrão	102
A.29 Soldadura nº57 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	103
A.30 Soldadura nº57 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	104
A.31 Soldadura nº57 - Gráfico da evolução desvio padrão	104
A.32 Soldadura nº58 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	105
A.33 Soldadura nº58 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	105
A.34 Soldadura nº58 - Gráfico da evolução desvio padrão	106
A.35 Soldadura nº61 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	107
A.36 Soldadura nº61 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	107
A.37 Soldadura nº61 - Gráfico da evolução desvio padrão	108
A.38 Soldadura nº67 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	109
A.39 Soldadura nº67 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	110
A.40 Soldadura nº67 - Gráfico da evolução desvio padrão	110
A.41 Soldadura nº75 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	111

A.42 Soldadura nº75 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	111
A.43 Soldadura nº75 - Gráfico da evolução desvio padrão	112
A.44 Soldadura nº88 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	113
A.45 Soldadura nº88 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	114
A.46 Soldadura nº88 - Gráfico da evolução desvio padrão	114
A.47 Soldadura nº90 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	115
A.48 Soldadura nº90 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	116
A.49 Soldadura nº90 - Gráfico da evolução desvio padrão	116
A.50 Soldadura nº105 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017	117
A.51 Soldadura nº105 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120	117
A.52 Soldadura nº105 - Gráfico da evolução desvio padrão	118

Índice de Tabelas

2.1	Tolerâncias de alerta dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668mm e 1435mm, adaptado (IP, S.A., 2009)	31
2.2	Tolerâncias de intervenção dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668mm e 1435mm, adaptado (IP, S.A., 2009)	31
2.3	Tolerâncias de acção imediata dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668mm e 1435mm, adaptado (IP, S.A., 2009)	32
3.1	Características a inspecionar (IP, S.A., 2015)	44
3.2	Critérios para avaliação do nivelamento de soldaduras (IP, S.A., 2015)	45
3.3	Ciclo de vida dos ativos da subclasse Via em função da carga e função do tipo de via	46
3.4	Grupos de classificação das linhas em função da carga	46
4.1	Resultados Gerais - Soldaduras Analisadas	73

Lista de Símbolos e Abreviaturas

λ	Comprimento de onda [m]
AMP	Ataque Mecânico Pesado
AMV	Aparelho de Mudança de Via
BLS	Barra Longa Soldada
D1	Banda com $1\text{m} \leq \lambda \leq 25\text{m}$
D2	Banda com $25\text{m} < \lambda \leq 70\text{m}$
IP	Infraestruturas de Portugal
JIC	Junta Isolante Colada
PH	Passagem Hidráulica
PK	Ponto quilométrico

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento do Tema

O transporte ferroviário é, desde a sua origem, um dos principais meios de transporte de mercadorias e passageiros. A sua evolução a nível técnico permitiu aumentar as suas velocidades, através do melhoramento tanto das infraestruturas ferroviárias como também do material circulante, conseguindo-se atingir hoje velocidades em serviço acima dos 300km/h.

Com a obtenção de grandes velocidades nas ferrovias, outros fatores entram em relevância, que são o conforto do transporte de passageiros e a segurança do comboio. A segurança e o conforto dependem tanto do material circulante como do estado da via, sendo que qualquer defeito existente na ferrovia pode levar a grandes vibrações, e até mesmo ao descarrilamento do comboio.

As grandes vibrações que atuam ao longo das ferrovias, devido a fatores de falta de homogeneidade destas, induzem forças bastante significativas. Estas forças traduzem-se num desgaste da ferrovia e constante necessidade de manutenção, por forma a garantir as condições de segurança ativas. Estas manutenções, hoje em dia, são um dos principais gastos das empresas gestoras da via férrea.

Uma das razões da falta de homogeneidade das ferrovias, é a existência de soldaduras, que se traduzem numa irregularidade existente na ferrovia. A existência de soldaduras veio substituir o uso de juntas entre carris, face também ao aumento de velocidades executadas nas ferrovias. No entanto, apesar das juntas soldadas apresentarem menos impacto do que as juntas tradicionais antigas, se não forem bem executadas ou se houver degradação da junta com o tempo, são geradas importantes forças de impacto com a passagem dos comboios.

No sentido de avaliar o estado em que se encontra a infraestrutura ferroviária, utiliza-se um veículo que permite realizar a inspeção do estado da geometria

da via: o veículo EM-120. Este veículo permite obter dados sobre o estado da geometria da via, que com base nos limites impostos para intervenção, permite decidir sobre a necessidade de manutenção, ou não, da via.

No caso das soldaduras, a forma de controlar o estado do seu nivelamento é com recurso a uma régua digital. No entanto, este procedimento só é realizado aquando a sua execução, pelo próprio facto de após estas serem executadas serem poucas as soluções existentes para melhoria do seu estado atual. É frequente, perante um mau estado da soldadura, prescrever-se a sua substituição geral, o que conduz ao aparecimento de outras duas soldaduras no carril. Além disto, é também usual recorrer-se à soldadura de recarga como solução temporária de regularização do nivelamento das soldaduras.

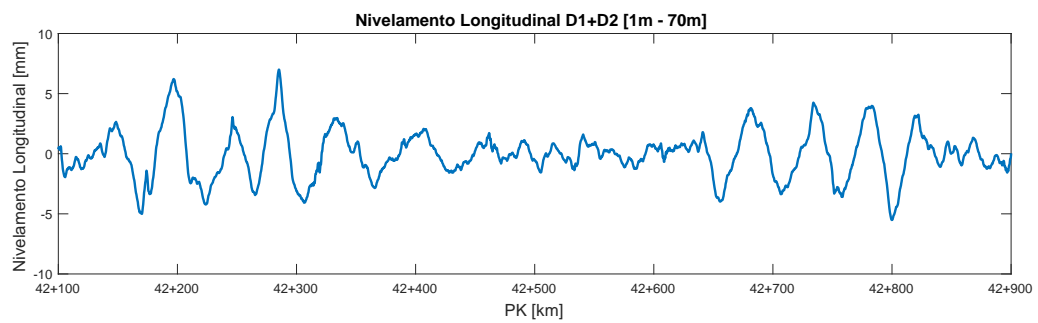
Por outro lado, a experiência dos gestores da infraestrutura ferroviária diz que locais com juntas soldadas em mau estado podem corresponder a locais onde a geometria da via apresenta uma taxa de degradação mais elevada. Esta constatação não é, no entanto, corroborada por nenhum estudo sistemático que faça esta análise.

1.2 Motivação

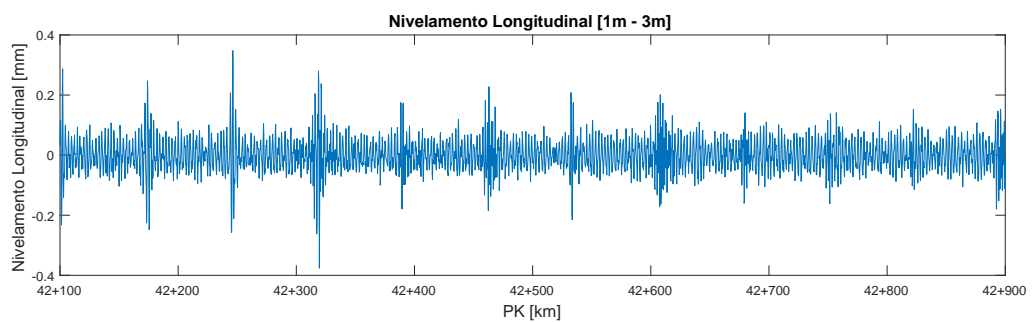
A motivação para este trabalho nasceu de uma observação inesperada no nivelamento longitudinal D1 medida pelo veículo EM-120 em campanhas de inspeção regulares, que será seguidamente descrita.

Como será descrito no Capítulo 2, o nivelamento longitudinal medido pela EM-120 divide-se em duas gamas de comprimento de onda: D1 (1m-25m) e D2 (25m-70m). A Figura 1.1 a) mostra a soma dos nivelamentos D1+D2, mostrando o nivelamento em toda a gama disponível (1m-70m), numa secção de via da rede Nacional. Fazendo uma filtragem deste sinal de nivelamento por forma a manter apenas os pequenos comprimentos de onda (1m-3m), como se mostra na Figura 1.1 b), observou-se a ocorrência regular de zonas com irregularidades de maior amplitude, com espaçamento entre elas aproximadamente constante.

Constatou-se ainda que o espaçamento entre picos de nivelamento coincidia com distâncias habituais entre soldaduras de carril: 108m, 72m, 36m, 18m, 12m (Figura 1.2), o que permitiu identificar a existência de soldaduras como causa provável para as marcas regulares observáveis no nivelamento D1.



a)



b)

Figura 1.1: a) Nivelamento D1+D2, b) Nivelamento filtrado [1m-3m] obtido de a)

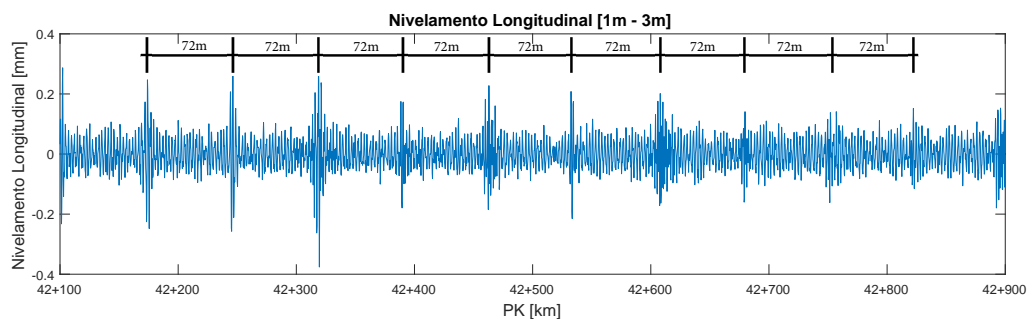


Figura 1.2: Nivelamento filtrado com espaçamentos analisados

Após esta identificação, foi transmitido à Infraestruturas de Portugal a possibilidade da realização de um projeto conjunto, que foi bem recebido pela I.P.,S.A., e foram formuladas as seguintes questões:

- As irregularidades (1-3m) no nívelamento longitudinal coincidem efetivamente com locais de soldaduras?
- Estas irregularidades (1-3m) medidas com o veículo EM-120 são realistas?
- De que forma as soldaduras afetam o nívelamento longitudinal D1?

1.3 Objetivos do Trabalho

O objetivo do presente trabalho assenta na tentativa de contribuir para o aperfeiçoamento das soldaduras aluminotérmicas, na forma de perceber como o seu estado afeta diretamente o nivelamento longitudinal da via, durante o seu tempo de vida útil.

O principal objetivo desta dissertação é o de estudar a influência do estado das soldaduras aluminotérmicas no nivelamento longitudinal da via.

Com isto, pretende-se também contribuir para a criação de uma metodologia de análise e de interpretação, inexistentes à data, por este estudo ser pioneiro no âmbito deste tema, estudando uma possibilidade de quantificar a influência das soldaduras de carril no nivelamento longitudinal de vias-férreas.

A metodologia a seguir consiste em analisar os vários estados de soldaduras, no que toca ao seu nivelamento, seguido de tentar perceber, tendo como base o nivelamento inicial da soldadura, o impacto que este traduz no nivelamento longitudinal da via durante um espaço temporal. No que toca aos principais dados de análise, estes vão ter como fonte a EM-120, que vai fornecer os dados do nivelamento longitudinal da via, tendo como base inspeções periódicas fornecidas pela IP.

Após o desenvolvimento da metodologia de análise, pretende-se aplicar esta ao máximo número possível de soldaduras e conjugar com toda a informação disponível, para se chegar a uma conclusão ou então num primeiro passo para desenvolvimentos futuros.

Por fim, serão evidenciadas as principais conclusões retiradas do desenvolvimento desta dissertação.

1.4 Estrutura da Dissertação

Após o capítulo introdutório, no capítulo 2 faz-se a descrição da estrutura ferroviária e das suas componentes, dos parâmetros geométricos da via existentes, tal como dos métodos usados para inspeções pela IP e também os limites para se proceder à intervenção/manutenção da via.

No capítulo 3 foram descritas as soldaduras mais correntemente usadas nas ferrovias, dando-se mais ênfase à soldadura aluminotérmica, que é o tipo de soldadura abordada por esta dissertação. Aborda-se o procedimento de execução destas na via, bem como das normas de avaliação do seu nivelamento e o comportamento expectável e vida útil.

No capítulo 4 é descrita a obtenção de dados na Infraestruturas de Portugal, sendo estes disponibilizados pela própria empresa, como também dados de

uma inspeção programada com fim próprio para este estudo, por forma a aprofundar as análises realizadas. Além dos dados obtidos é realizada também uma explicação da otimização destes dados, mencionando todo o tratamento de dados que teve que existir, juntamente com a conjugação desta informação toda separada por forma a limitar os erros de obtenção de dados. Além de se realizar uma introdução ao caso de estudo, dá-se início aos casos específicos em análise, assim como todo o trabalho realizado até aos resultados finais, os procedimentos usados e a metodologia de análise criada. No fim é apresentada a análise aos casos de estudo selecionados e conclusões de cada caso bem como os resultados gerais de todas as soldaduras analisadas.

No capítulo 6 apresentou-se as principais conclusões obtidas deste estudo e sugestões de desenvolvimento de futuros trabalhos a serem investigados.

Por ultimo, no capítulo Apêndice A são apresentados todos os casos de estudo que foram analisados e não abordados no capítulo 4, com a respetiva análise e conclusão.

Capítulo 2

Estrutura e Funcionamento da Via Férrea

2.1 Considerações Gerais e Principais Componentes da Via Férrea

A via ferroviária traduz-se num sistema complexo, composto por diferentes componentes, sendo elas:

- de carácter estrutural;
- de carácter funcional;
- das condicionantes do sistema;

que têm como função coletiva assegurar a circulação do material circulante de forma segura, económica e confortável.

Relativamente à estrutura das vias férreas, é possível dividi-las em dois tipos:

- Via balastrada.
- Via não balastrada ou em laje.

Antes da construção de uma ferrovia, deve-se ter em conta que tipo de via mais se adequa para o projeto em questão. Deve ser realizada uma análise qualitativa, analisando os aspetos vantajosos e desvantajosos de cada sistema, usando também a experiência de realizações anteriores, como também se deve analisar a rapidez de execução, a disponibilidade de material e as condições do solo, por forma a saber a disponibilidade de aplicação ou não de balastro, o custo de ciclo de vida de cada tipo de sistema, como também os aspetos ambientais,

as manutenções e intervenções mais regulares de cada sistema, etc. Ou seja, a escolha do tipo de sistema não é simples, antes pelo contrário, bastante complexa, o que leva a um grande investimento de tempo de análise para a escolha mais indicada. Com isto apenas se pretende deixar claro que não existe uma solução direta que seja melhor que a outra.

Em Portugal, a escolha mais habitual passa pelo sistema de via balastrada, sendo que a via não balastrada é mais usual em vias urbanas de superfície, ou metros.

Via Balastrada

A via balastrada é uma solução estrutural formada por duas zonas, a super-estrutura e a sub-estrutura. A super-estrutura é constituída pelos carris, elementos de fixação e travessas. A sub-estrutura consiste numa camada de balastro, camada de sub-balastro, camada de coroamento, sendo esta nem sempre aplicável, e por fim tem-se o solo de fundação. Em algumas bibliografias o balastro é considerado como uma camada situada na zona da super-estrutura. Neste documento opta-se pela designação acima descrita por uma questão de simplicidade, considerando assim a via separada por armadura da via (super-estrutura) e camadas granulares (sub-estrutura).

Este tipo de sistema apresenta algumas vantagens em relação ao sistema de via não balastrada, tais como: 1) uma maior flexibilidade de construção, reparação e manutenção; 2) um melhor conhecimento dos custos de ciclo de vida e duração; 3) uma maior eficiência de atenuação de ruídos e vibrações; 4) uma possibilidade de reutilizar o balastro, como material secundário, como por exemplo usando-o em camadas de forma; 5) permite uma maior facilidade em modificações do traçado, tais como, cruzamentos, desvios, escala (Vale 2010(UIC,2002)).

Na maioria dos casos, a via balastrada permite a realização de correções na própria via por forma a conseguir manter os requisitos de qualidade geométrica sem grandes gastos, corrigindo as devidas degradações geométricas com recurso a equipamentos mecânicos automáticos.

A Figura 2.1, representa o esquema de uma via balastrada, apresentando as diferentes zonas e respetivas camadas.

Num contexto geral, a zona da super-estrutura e o balastro são considerados os elementos de desgaste mais ou menos elevado, face à passagem do tráfego. As restantes camadas da sub-estrutura, têm normalmente um ciclo de vida bastante superior, podendo ser da ordem de 50 a 100 anos, desde que a manutenção e conservação da super-estrutura, sub-estrutura e da drenagem seja constante, por forma a manter a sua integridade física a funcionar corretamente face às exigências de cada camada (Fortunato 2005).

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS E PRINCIPAIS COMPONENTES DA VIA FÉRREA⁹

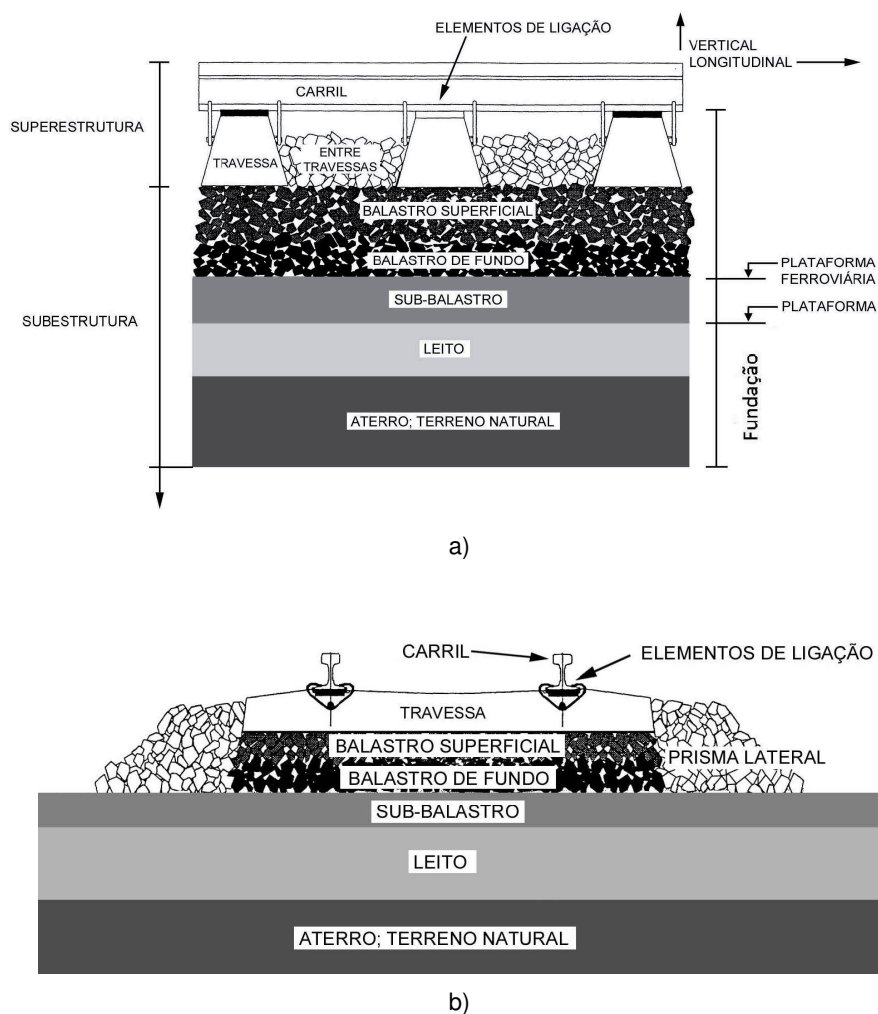


Figura 2.1: Esquema base de uma via balastrada: a) perfil longitudinal; b) perfil transversal (Fortunato, 2005 (Selig e Waters, 1994), adaptado).

Realiza-se agora uma descrição mais detalhada para cada constituinte da via balastrada, no sentido de compreender as funções desempenhadas e principais problemas de cada elemento.

Carril

Os carris são elementos de aço tendo como função o suporte e transmissão das cargas provocadas pelo material circulante, para as travessas, impondo também o guiamento do veículo. Os carris têm também como função a condução da corrente dos sistemas de sinalização e controlo da linha.

A Figura 2.2 ilustra o modelo de carril do tipo Vignole, que é o modelo que por norma é mais usado em via balastrada. Este modelo tem como constituição uma

cabeça, sendo esta a zona que guia e que apoia as rodas dos comboios, a alma, que define a altura desejada do carril e também a sua resistência à flexão, e a zona da patilha, que assenta nas travessas e onde são colocados os elementos de fixação (Simão 2014).

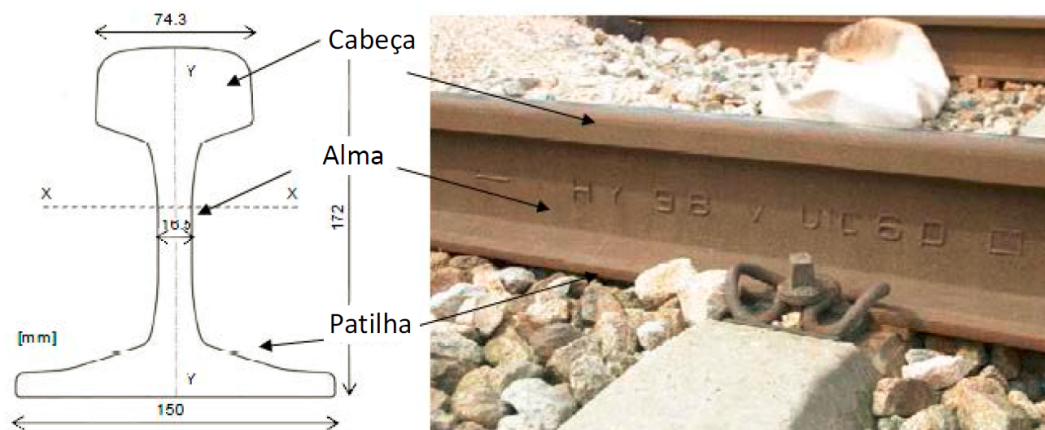


Figura 2.2: Perfil do tipo Vignole: Transversal (à esquerda)(Neves, 2010) e Longitudinal (à direita)(Fontul e Neves, 2015).

As cargas transmitidas pelo material circulante diretamente aos carris, são divididas por componentes estática e dinâmica. A componente estática deve-se ao peso do material circulante e correspondente carga transportada, enquanto a componente dinâmica pode ser causada por defeitos quer da roda quer do carril, que com a passagem do material circulante por estes, vai realizando cargas dinâmicas, dependendo da velocidade de circulação (Francisco 2016). Tem-se como exemplo a existência de soldaduras nos carris, que apresentam-se como uma irregularidade na união entre barras de carril (BLS). Com a passagem dos veículos por estas, são geradas forças dinâmicas, que provocam vibrações nos carris.

Tal como as soldaduras, as juntas "livres" dos carris podem também ser consideradas como uma irregularidade, pois representam uma descontinuidade do carril, que também tem importância nas ações dinâmicas entre o carril e material circulante.

Estas ações dinâmicas contribuem de forma ativa para a degradação constante da via e do material circulante.

No caso de carris sem juntas "livres", ou seja, carris constituídos por barras longas soldadas (BLS), estes apresentam algumas vantagens em relação ao carril com juntas, que são o exemplo de uma menor deterioração dos componentes da via, permitindo um maior intervalo de tempo entre operações de manutenção e conservação, permitem também uma menor geração de ruído e vibrações, menores oscilações dos comboios, proporcionando um nível de conforto superior e assim possibilitar a circulação a uma maior velocidade.

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS E PRINCIPAIS COMPONENTES DA VIA FÉRREA11

No entanto a sua desvantagem deve-se ao facto dos carris com estas barras longas soldadas estarem sujeitos a elevados esforços internos provenientes de variações de temperatura. O carril de barra longa soldada também dificulta a substituição dos elementos da super-estrutura exigindo um investimento inicial mais elevado (Fortunato, 2005).

Os principais modos de falha do carril são nomeadamente: 1) o desgaste da cabeça do carril em curvas, devido à fricção com o verdugo da roda através de grandes tensões pontuais; 2) falhas de deformações devido a cargas verticais elevadas; 3) falhas de fendilhação; 4) fadiga e desgaste ondulatório.

Elementos de ligação

Os elementos de ligação são constituídos por elementos de fixação e por palmilhas.

Os elementos de fixação (Figura 2.3) garantem, tal como o nome indica, a fixação do carril sobre a travessa, de forma a realizar o correto posicionamento dos carris sobre as travessas e a manter o devido comprimento da bitola. Devem também ter a função de absorver vibrações e resistir a movimentos verticais, laterais, longitudinais e de torção dos carris devido às forças aplicadas pelas rodas e variações de temperatura (Tzanakakis, 2013).

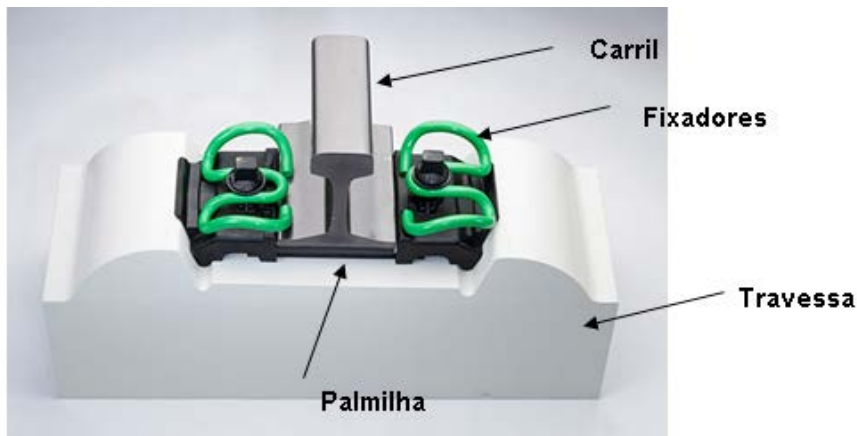


Figura 2.3: Imagem representativa de uma fixação de um carril a uma travessa (Vossloh, 2017).

As palmilhas são elementos elásticos colocados entre os carris e as travessas com o intuito de reduzir o atrito entre estes dois elementos. Devem também garantir o apoio adequado dos carris, amortecer as vibrações provocadas pelas rodas, promover o isolamento elétrico dos circuitos da via e proteger as travessas de desgaste e de danos por impacto (Pereira 2014).

O tipo de ligação e as características dos elementos de ligação e de apoio estão relacionados com o tipo de travessa de cada via (Fortunato 2005).

Travessas

As travessas são elementos da via colocados entre os carris e o balastro que recebem e transmitem as cargas estáticas e dinâmicas dos carris para o balastro, suportam o sistema de ligação dos carris, impedem movimentos verticais, laterais e longitudinais dos carris, preservam a bitola e a inclinação do carril dentro dos limites regulamentados e garantem o isolamento elétrico entre os dois carris da via (Simão 2014).

As travessas podem ser de diversos materiais, tais como, o metal, a madeira, o betão armado (bibloco) e o betão pré-esforçado (monobloco).

No que toca às travessas metálicas, estas são de uma dificuldade acrescida no que toca à sua colocação na via, são ruidosas, necessitam de isolamento elétrico e são particularmente sensíveis ao ataque químico, sendo as menos competitivas (Fortunato 2005).

As travessas de madeira foram as primeiras a serem usadas após o aparecimento das primeiras ferrovias, sendo que ainda hoje estas são usadas em diversas situações em que as de betão não são as mais apropriadas. Devido ao seu custo elevado, tempo de vida útil curto e baixa resistência lateral devida ao seu baixo peso, o seu uso na Europa está bastante limitado, pelo que se deve também à importância das travessas em vias de alta velocidade, que são o maior foco nos tempos presentes e futuros. De realçar que o seu tempo de vida útil depende não só da qualidade e do tipo de madeira mas também do tipo de conservação, do clima da zona, da carga por eixo, da velocidade e da própria qualidade da via em geral (Fortunato 2005).

Com o avanço na tecnologia do betão, foi impulsionado o uso de travessas de betão a partir de meados do século XX. Atualmente as travessas são de betão, podendo estas ser do tipo bibloco (de betão armado), do tipo monobloco (de betão pré-esforçado) e travessas-pórtico, como ilustrado na Figura 2.4.

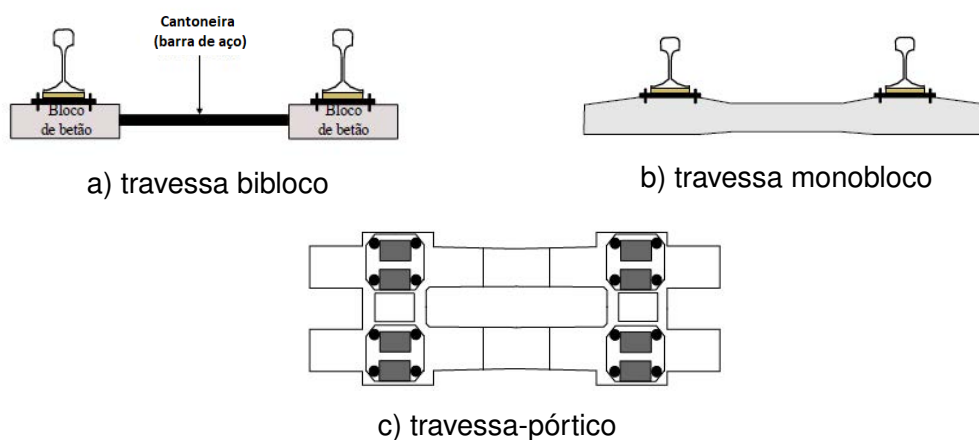


Figura 2.4: Tipo de travessas de betão (Vale, 2010)

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS E PRINCIPAIS COMPONENTES DA VIA FÉRREA¹³

A grande vantagem da travessa bibloco em relação à travessa monobloco, é o facto de esta conseguir garantir maior resistência lateral do balastro, devido à existência de um número superior de superfícies de contacto entre a travessa e o balastro e ao mesmo tempo conseguir ser mais leve do que a travessa monobloco. No entanto, as travessas monobloco são menos suscetíveis à fendilhação do que as bibloco, dado serem pré-esforçadas (Vale 2010).

O uso das travessas-pórtico, garante uma elevada resistência lateral ao movimento das partículas de balastro e também uma maior durabilidade da geometria inicial da via (Vale 2010(Esveld 2001)).

As travessas de betão, comparativamente às de madeira, garantem uma maior resistência lateral, são mais resistentes e mais duráveis, necessitando assim de uma menor conservação da via, menor custo durante a sua vida útil, não necessitam de tratamento químico, evitando assim contaminação ambiental e conseguem ser um material de maior facilidade de reciclagem, o que torna a sua utilização mais vantajosa na maioria das situações (Vale 2010(FIB 2006)).

No entanto, tem também as suas desvantagens, tais como, uma maior dificuldade no manuseamento, custo mais elevado, maior fragilidade, conservação mais cara e maior dificuldade em manter o nivelamento em plataformas medíocres, em face das forças de inércia mais importantes que se mobilizam à passagem das cargas rolantes (Simão 2014).

Note-se que a durabilidade das travessas de betão pode ser afetada quimicamente, devido ao aparecimento de etringite retardada, à reação de álcalis-sílica ou devido à carbonatação, pelo que se deve controlar a sua composição química e a cura do betão, para garantir a durabilidade das travessas.

O espaçamento entre travessas é um dos fatores importantes para o desempenho adequado da via, principalmente se a plataforma não for de boa qualidade (Fortunato 2005(ORE, 1973,1981a)).

O valor normalmente usado de espaçamento entre travessas, em plena via, é de 0,60m para uma via balastrada e de 0,65m para uma via em laje. A norma EN13231-1 (2006) define uma variação máxima de 20mm do espaçamento entre travessas, relativamente ao valor de projeto, por forma à aceitação da ferrovia (Vale 2010).

O desempenho das travessas depende essencialmente das características das camadas inferiores (subjacentes), nomeadamente da sub-estrutura. Com o aumento da qualidade da fundação é possível reduzir a amplitude das vibrações e dos modos de vibração de flexão das travessas (Vale 2010(Man 2002)).

Relativamente às dimensões das travessas, tem-se vindo a verificar um aumento ao longo do tempo, o que tem contribuído para uma redução da tensão aplicada ao balastro e camadas inferiores, contribuindo também para um aumento da estabilidade lateral da via (Vale 2010).

No que toca ao dimensionamento das travessas, é importante que estas sejam dimensionadas para as solicitações estática e dinâmica, projetando para uma vida útil superior a 40 anos. Ainda na questão do dimensionamento, as travessas não devem apresentar fendilhação para a carga de projeto, permitir que seja ultrapassado um determinado valor limite de abertura de fendas, resultante de cargas excepcionais e ainda que o recobrimento das armaduras seja suficiente para se garantir o máximo de durabilidade (Vale 2010(FIB 2006)).

Balastro

O balastro é um material granular que desempenha um papel fundamental no comportamento da via no que se refere à sua estabilidade vertical, resistindo às forças com componente vertical, como também pela resistência direta das partículas. Referente à sua estabilidade horizontal, garante o equilíbrio das forças laterais e longitudinais através do atrito que é gerado entre as partículas de balastro e as travessas e também devido ao embricamento das partículas de balastro (Fortunato 2005).

A permeabilidade do balastro é outro papel fundamental, conseguindo assim afastar de forma eficaz a água ou outros líquidos dos carris e travessas, evitando possíveis contaminações destes.

A camada de balastro tem como funções: 1) servir de apoio às travessas; 2) resistir às ações verticais, laterais e longitudinais aplicadas às travessas, com o intuito de manter a via no alinhamento e nivelamento correcto; 3) promover a absorção de vibrações; 4) permitir o escoamento de material poluente proveniente do material circulante; 5) facilitar as operações de conservação relacionadas com o nivelamento e o alinhamento da via, devido à possibilidade de arranjo das partículas de balastro para correção destas; 6) permitir o escoamento das águas pluviais; 7) evitar o aparecimento de vegetação; 8) minimizar os efeitos das ações climáticas(chuva e gelo) sobre as camadas subjacentes; 9) reduzir a tensão transmitida pelas travessas às camadas subjacentes e fazer essa transferência da forma mais uniforme possível (Fortunato 2005).

O comportamento para o qual a camada de balastro é dimensionada, é essencialmente condicionado pelas suas características mecânicas (resistência e deformabilidade) e hidráulicas (permeabilidade), devendo estas, manterem-se o maior tempo possível sem qualquer necessidade de intervenção. Essas características dependem, entre outros fatores, da espessura e da compacidade da camada e das características das partículas (forma, dureza, dimensões, etc.). Contudo, tanto as características da super-estrutura da via, como o tipo e a frequência dos trabalhos de conservação e as próprias solicitações do material circulante atuantes, podem condicionar o comportamento da camada de balastro (Fortunato 2005).

No entanto para o balastro desempenhar adequadamente as funções desejadas,

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS E PRINCIPAIS COMPONENTES DA VIA FÉRREA¹⁵

são precisos alguns requisitos, embora contraditórios em alguns aspetos. Como por exemplo, por forma a proporcionar uma boa capacidade de carga e uma boa estabilidade da via ao longo do tempo, o balastro deve ser bem graduado e ter uma elevada compacidade. Contudo, esta condição reduziria a sua permeabilidade, não garantindo o rápido escoamento da água, como também dificultaria os trabalhos de conservação da via. Geralmente aceita-se que a camada de balastro seja constituída com materiais monogranulares com partículas de grandes dimensões (inferiores a 63 mm), conseguindo-se assim um meio muito permeável e proporcionando uma fácil intervenção nas operações de conservação. No entanto, alguns investigadores defendem o uso de materiais mais graduados, com partículas de menores dimensões, permitindo assim uma melhor compactação e estabilidade (Fortunato 2005).

A camada de balastro está dividida em quatro zonas: 1) balastro entre travessas; 2) prisma lateral; 3) balastro superficial, diretamente afetado durante as ações mecânicas de conservação; 4) balastro de fundo.

Note-se que a norma Europeia EN 13450 (2005) classifica os materiais para o balastro tendo em conta não só a sua granulometria, mas também a forma das partículas, a resistência à fragmentação, a resistência ao desgaste por atrito (Micro-Deval) e a durabilidade, indicando também a avaliação para se obter a sua conformidade e à marcação e etiquetagem dos materiais (Vale 2010).

A IP distingue os agregados para o balastro de vias férreas em dois tipos: Tipo I, para sistemas ferroviários de alta velocidade ; Tipo II, para a rede convencional.

Sub-Balastro

A camada de sub-balastro situa-se entre a camada de balastro, constituída por partículas de boa qualidade, e a fundação, cujo material é de menor qualidade.

A camada de sub-balastro tem algumas funções a desempenhar em igualdade com o balastro, nomeadamente: 1) reduzir as tensões impostas pelo material circulante, para níveis aceitáveis na fundação; 2) proteger a fundação contra as ações do gelo (Fortunato 2005).

Além destas, a camada de sub-balastro tem outras funções específicas: 1) promover a separação entre o balastro e a fundação, evitando a interpenetração e a migração do material fino; 2) evitar o desgaste da fundação pela ação mecânica do balastro, principalmente na presença de água, que pode provocar a formação de lamas, que por ação das cargas dinâmicas podem ser bombadas para a superfície; 3) funcionar como camada impermeabilizadora, evitando que as águas que vêm do balastro cheguem à fundação; 4) funcionar como elemento drenante e filtrante, permitindo que se escoem as águas que ascendem da fundação, mas evitando que haja passagem de elementos finos para o balastro (Fortunato 2005).

O sub-balastro deve ser pouco deformável e com baixa permeabilidade. Por norma

usa-se um único material, ou um conjunto de materiais com distintas funções, por forma a serem atingidos os objetivos pretendidos. As partículas devem ter boa resistência ao desgaste e a sua granulometria deve poder proporcionar as funções de filtro e de garantir a separação entre o balastro e a fundação (Fortunato 2005).

O material usado para a camada de sub-balastro, normalmente é do tipo granular, contudo, em casos especiais, esta camada pode ser constituída por uma base de betão pobre ou mistura betuminosa. As vantagens do uso deste material sob a camada de balastro encontram-se: 1) na proteção da fundação; 2) na melhor distribuição da carga à fundação; 3) numa melhor impermeabilidade.

No caso das desvantagens, igualmente importantes, tem-se: 1) a possível fendilhação da camada de betão; 2) a existência de fenómenos de bombagem de finos; 3) trata-se de uma solução pouco económica (Vale 2010).

Tal como no caso do balastro, a IP também dispõe de um documento técnico para o sub-balastro. Onde se refere às partículas pela sua qualidade de finos, à sua forma, à sua resistência mecânica e permeabilidade.

De notar ainda, que o uso da camada de sub-balastro reduz os custos económicos de uma determinada via, pois este é menos dispendioso que o balastro, reduzindo assim a espessura necessária de balastro e por conseguinte o custo final de construção de uma ferrovia.

Fundação

A fundação da via, é a ultima camada, sobre a qual assentam todas as outras camadas da ferrovia. É designada por plataforma das terraplanagens, ou apenas por plataforma. A fundação é executada em terreno natural ou em aterro, sendo esta dividida em duas zonas: a camada superficial designada de leito, e a fundação em geral.

Por vezes, nas infraestruturas ferroviárias, executa-se uma camada extra, designada por coroamento, por forma a garantir a capacidade de carga pretendida (Fernandes 2011). Esta camada é utilizada quando o leito de fundação não apresenta as características adequadas, funcionando como uma camada de reforço. Esta normalmente é constituída por solo de boa qualidade e pode ser uma opção à adoção de uma grande espessura de sub-balastro (Francisco 2016 (Alves 2010)).

O material existente na fundação, bem como as suas características e comportamento, tem uma grande importância no dimensionamento e na construção das camadas de apoio, de tal forma que em algumas ocasiões é necessário substituir os solos existentes, ou garantir o seu melhoramento (Fortunato 2005).

O papel da fundação na qualidade e no desempenho da via é determinante,

*2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS E PRINCIPAIS COMPONENTES DA VIA FÉRREA*¹⁷

principalmente quando esta é sujeita às cargas repetidas dos comboios, contribuindo de forma considerável para a deformação reversível e para a deformação permanente, medidas ao nível do carril, e influencia a deterioração dos elementos da super-estrutura e do balastro.

A fundação é a camada principal que suporta e recebe as cargas finais, o que implica ter uma grande influência nos assentamentos resilientes e permanentes, sendo que se estes forem excessivos, pode haver danos nos elementos presentes na super-estrutura da via. A fundação, deve garantir logo na fase de construção uma boa capacidade de carga, permitindo assim a execução dos trabalhos e a movimentação dos equipamentos de construção sobre a mesma. Enquanto isso, na fase de exploração, a capacidade de carga ao nível da fundação depende das características dos terrenos subjacentes, das camadas sobrejacentes e das condições de drenagem da via, não devendo apresentar deformações significativas (Simão 2014).

A rigidez da via depende maioritariamente do módulo de deformabilidade e da espessura do leito de fundação (Simão 2014).

No contexto das funções que devem ser garantidas pela fundação são: 1) garantir o apoio à super-estrutura e às camadas de apoio da via e suportar as tensões impostas pelas cargas repetidas, por forma a não permitir a rotura e sem deformações excessivas (reversíveis e permanentes); 2) manter uma posição estável no tempo, minimizando o efeito na camada dos ataques das ações ambientais, como os ciclos de molhagem e secagem associados à pluviosidade; 3) resistir ao atrito e ao desgaste causados pelo balastro e(ou) sub-balastro, fenómenos que tendem a causar a bombagem de finos e consequentes assentamentos; 4) garantir uma adequada superfície para posteriormente colocação e compactação do sub-balastro (Fortunato 2005).

Via não Balastrada

Apesar do caso de estudo se tratar de uma via balastrada, apresenta-se sumariamente a constituição de uma via, sem o uso de balastro.

No caso de uma via não balastrada, tal como o nome indica, não é provida de balastro, sendo este substituído usualmente por uma camada de laje de betão armado ou por uma camada de mistura betuminosa.

Uma solução de via não balastrada, ou em laje, apresenta uma grande variedade de conceções estruturais, habitualmente classificado-se quanto: 1) ao tipo de fixação do carril, pontual ou contínua; 2) ao modo de execução da laje de betão, sendo este in situ ou por uma laje pré-fabricada; 3) ao número de níveis resilientes, podendo ser um ou mais níveis; 4) à natureza e tipo de fundação, tratando-se de um betão pobre ou um material betuminoso (Vale 2010).

Em comparação com a via balastrada, a solução não balastrada, ultrapassando a

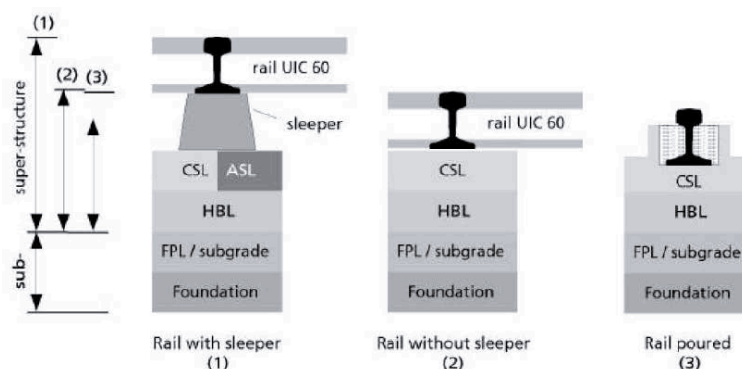
igualdade de uso de carris, travessas, elementos de ligação e fundação, é definida com três camadas diferentes (Paixão e Fortunato, 2009):

- Camada superior em laje de betão armado (CSL - Concrete supportive layer) ou de mistura betuminosa (ASL - asphalt supportive layer) - esta camada recebe o armamento de via e tem como função distribuir as cargas transmitidas pelo material circulante para as camadas inferiores respeitando exigentes requisitos de durabilidade. No caso da laje em betão armado, esta deve apresentar um padrão de fendilhação controlado e deve assegurar resistência à ação do gelo e degelo. No caso da camada de apoio de mistura betuminosa, são consideradas condicionantes semelhantes às das rodovias, mas obedecendo a critérios mais exigentes;
- Camada de agregados tratados com ligante hidráulico (HBL - Hydraulically-Bonded Layer) - esta camada situa-se entre a CSL (ou a ASL) e as camadas inferiores granulares, degradando as cargas para as camadas inferiores. É constituída por material inerte de granulometria bem determinada, tratado com um ligante hidráulico. Em túneis, pontes ou soluções mais económicas de via é usual a supressão desta camada, desde que se proceda ao aumento da espessura da laje superior de betão, ou sejam implementadas medidas de melhoria das camadas situadas imediatamente abaixo;
- Camada de material granular, com propriedades semelhantes ao sub-balastro (FPL - Frost protection layer): suporta a camada tratada com ligante hidráulico e distribui os esforços para as camadas da fundação. Deve apresentar uma certa resistência ao gelo e degelo, nas circunstâncias em que isso for relevante, assim como fornecer boas condições de drenagem à via.

Na Figura 2.5 o tipo de soluções descritas em (1) consistem num grupo constituído por carris apoiados em travessas assentes ou embebidas numa laje de betão armado ou numa camada de mistura betuminosa, enquanto em (2) dispensa-se o uso de travessa, estando o carril diretamente assente na camada de betão e por fim em (3), que consiste numa solução de carril embutido numa laje de betão armado.

A via não balastrada ou em laje, surge com a necessidade de um modelo de ferrovia que garanta a estabilidade e circulação do material circulante mantendo o conforto e segurança, exigindo pouca conservação. No contexto teórico, os trabalhos de conservação de uma via deste tipo, apenas se limitaria à substituição dos carris face ao seu desgaste, dos elementos de fixação deteriorados e os elementos de apoio envelhecidos, aquando da sua influência negativa para a qualidade de circulação.

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS E PRINCIPAIS COMPONENTES DA VIA FÉRREA¹⁹



CSL - laje de betão (Concrete Supportive Layer); ASL - camada de mistura betuminosa (Asphalt Supportive Layer); HBL - agregados tratados com ligante hidráulico (Hydraulically-Bonded Layer); FPL - Camada de protecção contra o gelo (Frost protection layer); subgrade - leito de via.

Figura 2.5: Diferentes soluções de via não balastrada (Paixão e Fortunato, 2009)

As vantagens existentes para este tipo de via, em relação à via balastrada, são : 1) um menor risco de descarrilamento; 2) facilidade de acesso à via de veículos de emergência não ferroviários; 3) maior vida útil da via; 4) menor largura das banquetas; 5) redução da altura/diâmetro dos túneis; 6) maior facilidade de evacuação de líquidos perigosos, em caso de acidente; 7) menor consumo energético, devido à melhoria aerodinâmica do sistema; 8) economia em material usado, uma vez que o material da escavação pode ser utilizado no fabrico do betão; 9) menor exigência, em quantidade, de ações de manutenção da via; 10) permite o aumento de velocidade de tráfego de veículos em zonas de fundação com solos fracos, cuja velocidade crítica é baixa; 11) a elevada resistência lateral da via permite aumentar a velocidade de circulação de comboios pendulares (Vale 2010 (UIC 2002)).

Na Figura 2.6 são representados seis tipos de soluções diferentes de conceção de uma via em laje.

No geral este tipo de via garante uma redução em custos de manutenção e uma melhor estabilidade da via, permitindo uma melhor segurança em veículos com velocidades cada vez mais elevadas.

No entanto este tipo de via tem elevados custos de construção, sendo que o custo é cerca de 50% superior ao da via balastrada e além disto, não permite com facilidade operações de conservação ou manutenção na via, face à qualidade da geometria da via, tendo que haver maior rigor geométrico na fase de construção. Outras desvantagens são o facto de este tipo de via gerar um maior nível de ruído e maiores vibrações produzidas face à passagem do tráfego (Fernandes 2011).

Por estas razões, este tipo de via tem uma utilização muito específica, nomeadamente em túneis, pontes, viadutos e estações de linhas de alta velocidade, permitindo assim uma maior durabilidade dos elementos da via, sem a necessidade de intervenções de manutenção.

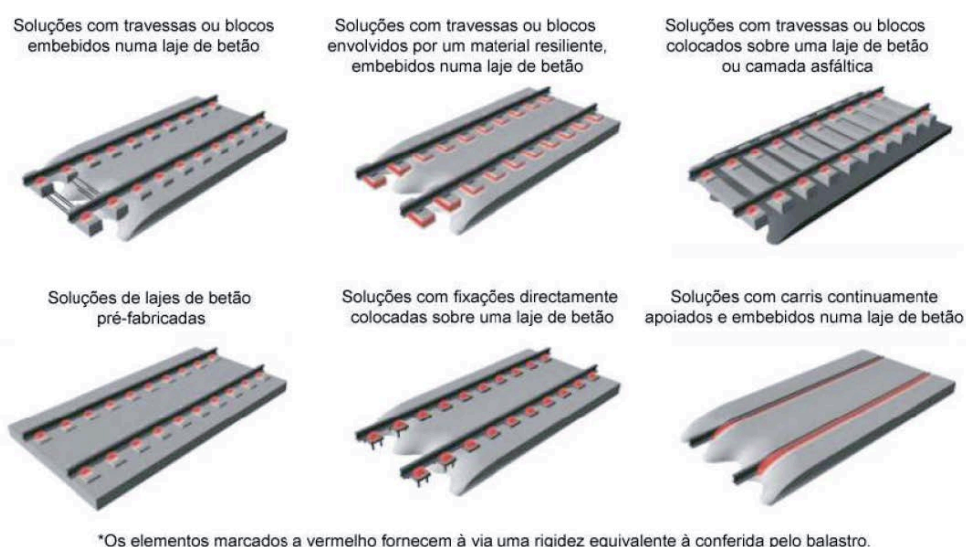


Figura 2.6: Diversas concepções de via em laje (Paixão e Fortunato, 2009)

No entanto realça-se que este método construtivo pode, por vezes, não ser seguido. A segunda ou terceira camada podem sofrer alterações ou ser suprimidas consoante as características do terreno de fundação, algum carregamento expectável ou ainda serem substituídas por outros materiais (Oliveira 2012).

A rigidez da via não balastrada, tal como a balastrada, é dependente de todos os elementos e camadas que a constituem.

Nos dias de hoje já se encontram dispostas, várias soluções de via não balastrada com elevados índices de qualidade, graças às evoluções nas últimas décadas. A maioria destas soluções apresenta períodos de vida útil bastante bons, com cerca de 60 anos, sem grande necessidade de operações de conservação (Fernandes 2011).

2.2 Qualidade Geométrica da Via

A qualidade da geometria da via é caracterizada por diversos parâmetros, que através do uso de equipamentos devidamente certificados para o efeito, são medidos e obtidos para posteriormente serem avaliados segundo critérios rigorosos de qualidade, critérios esses definidos em normas. O controlo de qualidade é realizado através de inspeções que visam avaliar a conformidade dos parâmetros com as respetivas normas.

Neste capítulo irão ser caracterizados os parâmetros que definem a qualidade geométrica da via, sendo eles respetivamente:

- Bitola;
- Nivelamento Longitudinal;
- Nivelamento Transversal;
- Alinhamento;
- Empeno.

A monitorização da qualidade da geometria da via consiste na avaliação e caracterização destes parâmetros geométricos, devendo ser realizada, periodicamente, por um veículo de inspeção geométrica da via. Posteriormente a essa inspeção devem ser avaliados segundo os limites estipulados em normas, para a possibilidade de intervenção na retificação destes parâmetros.

A qualidade da geometria da super-estrutura da via é um fator importante para determinação da velocidade de circulação e das condições de segurança dos veículos (inclusive, a não conformidade de um destes parâmetros condiciona de forma imediata a velocidade e condições a que o tráfego ferroviário pode circular nas respetivas linhas). De igual modo, a qualidade da manutenção da geometria da via influencia a capacidade de circulação ferroviária. Mesmo que os parâmetros da via sejam definidos e medidos separadamente, a sua influência na via é conjunta, o que implica que o incumprimento de um parâmetro pode conduzir à degradação de outro. A IP (IT.VIA.18, 2009), descreve os parâmetros medidos e as suas tolerâncias.

Neste capítulo irão ser realçados todos os parâmetros, mas de enfatizar que o tema desta dissertação tem como principal objetivo uma análise de nivelamento longitudinal, pelo que aconselha-se o leitor para que seja dada uma maior atenção a esta definição.

2.2.1 Parâmetros da Geometria da Via

Bitola

A bitola de uma ferrovia corresponde à menor distância G , entre as faces interiores das cabeças de dois carris, medidos num ponto P , a uma distância Z_p do plano de rolamento, que varia entre 0mm e 15mm (Figura 2.7). Em Portugal existem três tipos de bitolas distintas, a bitola europeia de 1435mm, em vigor apenas no metro, a bitola ibérica com 1668mm para linhas de via larga e a bitola métrica de 1000mm para linhas de via estreita, estando estas duas últimas em vigor sob gestão da IP (IP, S.A., 2009).

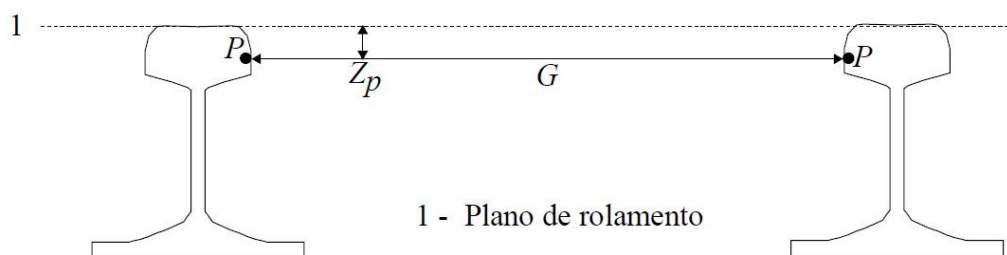


Figura 2.7: Representação esquemática da medição da bitola (EN13848-5, 2008)

Este parâmetro de geometria da via é um indicador de qualidade de construção e do estado da conservação da própria via, já que a não conformidade dos requisitos mínimos poderá levar a situações de descarrilamento. Quando este parâmetro não se encontra em conformidade com as normas traduz o reflexo do desgaste e degradação dos materiais ou a presença de anomalias noutros parâmetros.

A bitola define também o tipo de veículos que podem circular na via, sendo que por norma um veículo que circule numa via com bitola europeia não pode transitar diretamente para uma via com bitola ibérica.

Nivelamento Longitudinal

Relativamente ao Nivelamento Longitudinal (Figura 2.8), este corresponde ao desvio Z'_p na direcção z , perpendicular ao plano de rolamento, em consecutivas posições, do eixo de cada carril, em relação a uma linha de referência paralela ao plano de rolamento, calculado em sucessivas medições (IP, S.A., 2009).

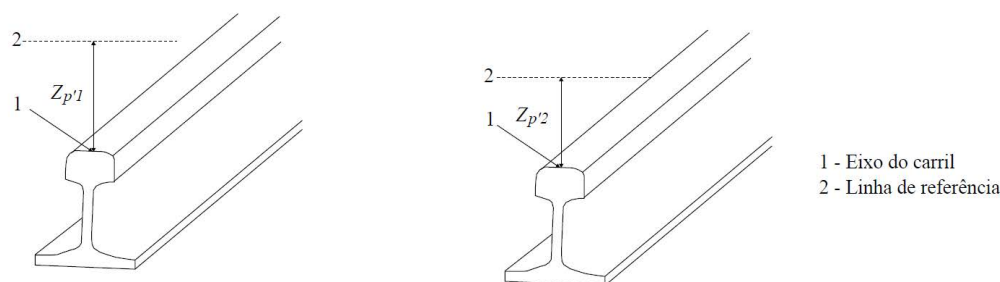


Figura 2.8: Representação esquemática da medição do nivelamento longitudinal (EN13848-5, 2008)

As medições devem ser realizadas por sistemas inerciais, por sistemas de cordas (que devem ser assimétricas) ou pela combinação dos dois métodos. Na medição por sistemas de cordas, utilizam-se cordas de 10 metros. Na medição por sistemas inerciais, os comprimentos de onda (λ) são filtrados pelas seguintes bandas (Simão 2014):

- D1 : $1\text{m} \leq \lambda \leq 25\text{m}$
- D2 : $25\text{m} < \lambda \leq 70$ (normalmente para a velocidades $\geq 160\text{ km/h}$)
- D3 : $70\text{m} < \lambda \leq 150\text{m}$ (para detetar defeitos de elevado comprimento de onda, para velocidades $\geq 250\text{km/h}$)

Nivelamento Transversal

O nivelamento transversal é definido como a diferença em altura da mesa de rolamento de cada carril, obtida pelo ângulo entre o plano de rolamento e o plano horizontal de referência. Corresponde à dimensão do cateto vertical de um triângulo retângulo que tem como hipotenusa um valor de referência representativo da distância entre os dois eixos dos carris, tal como se pode ver a sua representação esquemática na Figura 2.9 (IP, S.A., 2009).

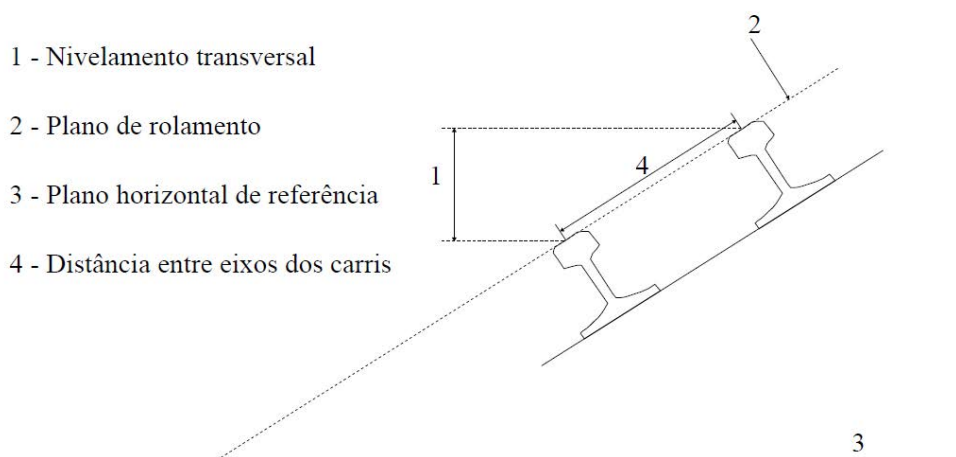


Figura 2.9: Representação esquemática da medição do nivelamento transversal (EN13848-5, 2008)

Alinhamento

Tal como o nivelamento longitudinal, o alinhamento pode ser medido através de sistemas inerciais ou por sistemas de cordas. O alinhamento é definido como o desvio Y_p , na direção y, paralela ao plano de rolamento, perpendicular ao eixo do carril x, em consecutivas posições de P em cada carril, em relação a uma linha de referência intermédia, como se indica na Figura 2.10. O valor medido em cada carril é depois filtrado nas bandas de comprimento de onda D1 e D2 (IP, S.A., 2009).

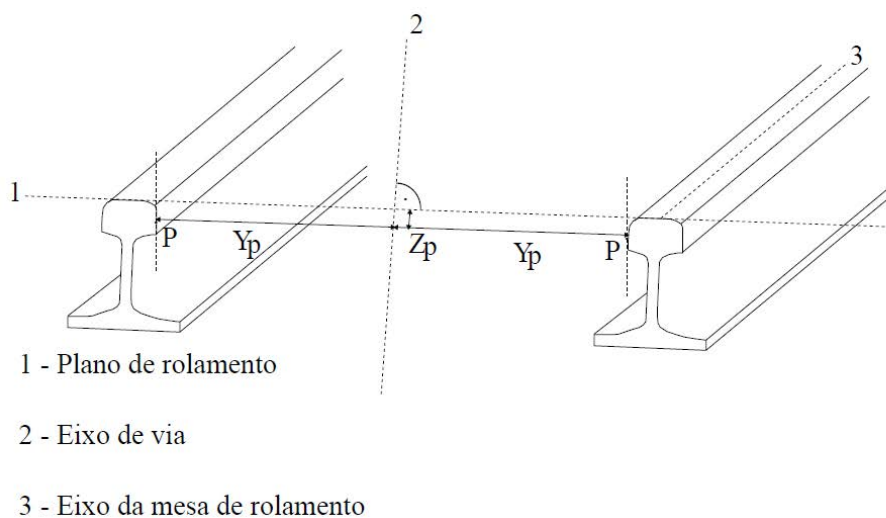


Figura 2.10: Alinhamento (EN13848-5, 2008)

Empeno

Referente ao empeno, a definição deste tem apenas como base a diferença entre dois nivelamentos transversais numa determinada base de medição, sendo essa habitualmente de 3m, podendo ser possível observar essa definição na Figura 2.11 (IP, S.A., 2009).

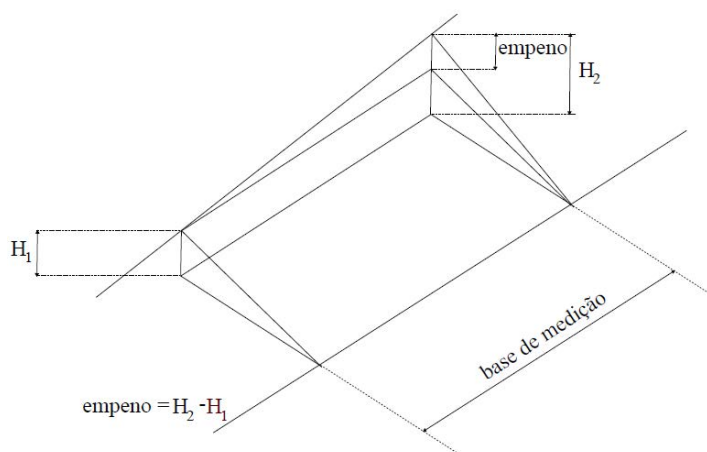


Figura 2.11: Definição de empeno (EN13848-5, 2008)

2.2.2 Métodos de Inspeção da IP, S.A.

Por forma a manter a via ferroviária em condições de conforto, segurança e fiabilidade, mantendo a sua boa qualidade, é necessário saber-se o seu estado ao longo do tempo, para se agir na condição de manutenção na eventualidade

de haver necessidade. Para tal são realizadas inspeções regulares à via e de medições dos seus parâmetros geométricos, que avaliam a condição do carril e das camadas da infraestrutura.

Com base nas inspeções realizadas, obtêm-se resultados aos quais procede-se a sua análise, para posteriormente, caso haja não conformidade de algum parâmetro, iniciar-se a sua manutenção, corrigindo-o, tratando-se muitas vezes casos de geometria da via e/ou substituição de algum material necessário, entre outros. Estas inspeções podem ser realizadas manualmente ou automaticamente, com veículos especialmente desenvolvidos para esse efeito.

A empresa Infraestruturas de Portugal (IP) utiliza, maioritariamente, para a realização da inspeção automática o veículo EM-120.

Dado o âmbito do presente estudo, será apenas falado deste método de inspeção, juntamente com o RMF, que é um veículo de tração manual (necessita de força humana) e ainda de um outro, dado de nome Régua SECNET. A Régua SECNET visa inspecionar o nivelamento e alinhamento local das soldaduras, sobre quais este estudo incide, sendo esta a inspeção que indica a conformidade das soldaduras no que toca ao nivelamento e alinhamento.

Veículo de Inspeção de via EM-120

O veículo de inspeção de via da IP, EM-120 (Figura 2.12), é um veículo com a capacidade de avaliar as condições da via de uma forma rápida e não destrutiva, podendo fazer a sua inspeção a uma velocidade máxima de 120 km/h. Este veículo inspeciona a geometria de via e catenária, perfil transversal de via e do carril e também o desgaste ondulatorio do carril. Além disso a informação é recolhida pela EM-120 a cada 25cm independentemente da velocidade de circulação durante a inspeção.



Figura 2.12: Veículo de inspeção geométrica da via EM-120 (IP, S.A.)

A EM-120 tem os seguintes equipamentos de inspeção distintos instalados

(Lopes, 2013 (IP, S.A., 2001)):

- Sistema de inspeção de geometria da via;
- Sistema de inspeção do perfil transversal do carril;
- Sistema de inspeção do perfil transversal da via;
- Sistema de inspeção da geometria da catenária;
- Sistema de avaliação das camadas da infraestrutura através de Radar de prospeção.

Todos os equipamentos de inspeção instalados no EM-120 correspondem, de um modo geral, ao estado da arte no que se refere a equipamentos de inspeção de infraestruturas ferroviárias usados pelas principais empresas de infraestruturas da Europa.

A medição dos parâmetros geométricos da via é efetuada sem contacto, tendo como recurso os seguintes equipamentos (IP, S.A., 2001):

- IMU (Inercial Measuring Unit) - Caixa inercial que permite medir o alinhamento, o nivelamento longitudinal e transversal. Composta por 3 acelerómetros, que medem acelerações segundo 3 eixos que formam 90° entre si (transformadas em deslocamentos após dupla integração), e 3 giroscópios que medem as variações angulares em torno desses mesmos eixos (Figura 2.13);

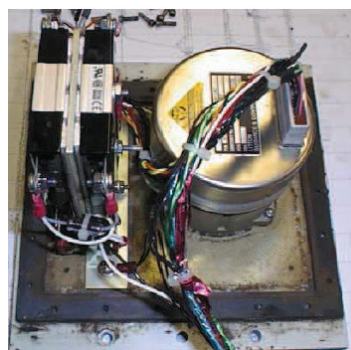


Figura 2.13: IMU (Inercial Measuring Unit), adaptado (Simão, 2014 (Baldeiras, 2013))

- GMS (Gauge Measuring System) - Este sistema projeta um laser até ao topo dos carris e contém uma câmara que regista a linha projetada. A partir da imagem registada, o equipamento mede meias bitolas (esquerda e direita), a bitola e a distância vertical entre a cabeça do sensor e o topo dos carris. A bitola é medida sem que haja um requisito mínimo de velocidade, no entanto, os parâmetros de geometria da via requerem um limite mínimo de velocidade (Figura 2.14);

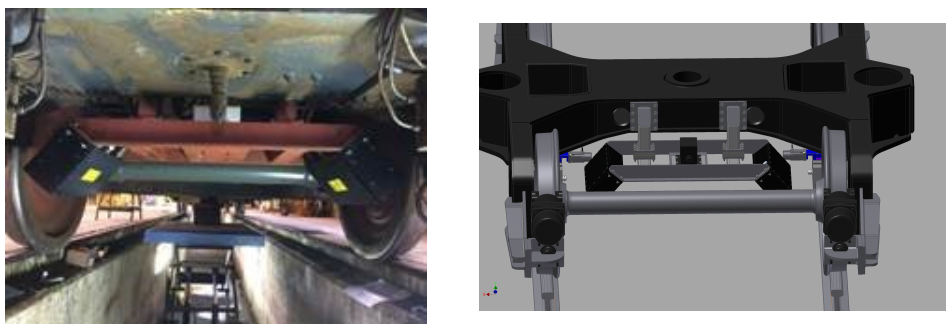


Figura 2.14: GMS (Gauge Measuring System)

- GPS (Global Positioning System) - indica a posição na terra em que o veículo se encontra. Informação que nos fornece a referência inicial e para aferir as medições efetuadas pela caixa inercial;
- Encoder - Sistema que indica a distância percorrida pelo veículo.

Os dados recolhidos pela EM-120 são armazenados e tratados em computadores e unidades de controlo dos sistemas de inspeção, instalados no próprio veículo (Figura 2.15). Todos os parâmetros de via são registados num ficheiro que apresenta as medições de 25 em 25 centímetros. São também gerados relatórios e gráficos de todos os dados recolhidos (Figura 2.16).



Figura 2.15: Cabine de Condução e computadores de armazenamento e tratamento de dados, adaptado (Rodrigues, 2012 e Fontul e Neves, 2015)

Geralmente nos gráficos são mostrados os seguintes sete parâmetros:

- Nivelamento Longitudinal Esquerdo;
- Nivelamento Longitudinal Direito;
- Empeno;
- Bitola;
- Nivelamento transversal;

- Alinhamento Esquerdo;
- Alinhamento Direito;

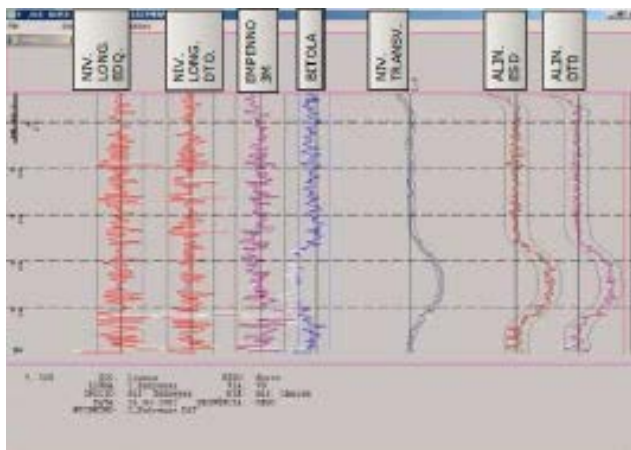


Figura 2.16: Gráfico dos parâmetros geométricos (Fontul e Neves, 2015)

Equipamento Ligeiro de Inspeção de via RMF

O RMF (Figura 2.17), é um equipamento leve e de fácil manipulação que regista e armazena os parâmetros de via e o desgaste ondulatório dos carris, obtendo as suas medições a cada 2mm, aquando a sua passagem.

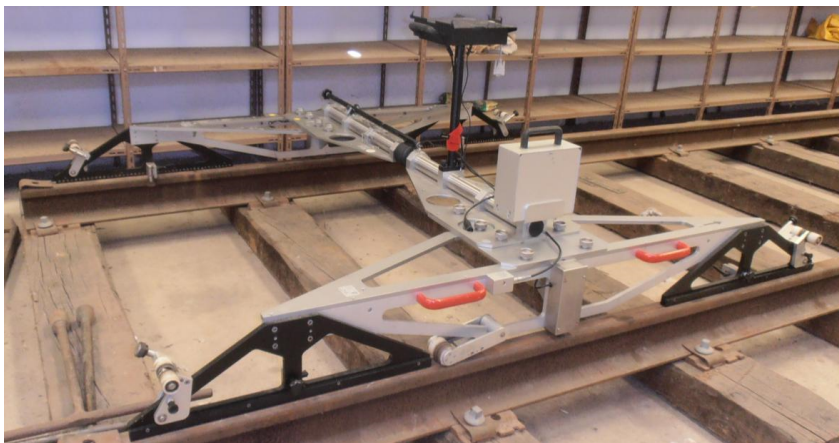


Figura 2.17: RMF - auscultador de geometria de via e desgaste ondulatório (Miguel, 2015 (IP, S.A., 2011))

Além destes dois componentes é ainda possível registar outros fatores, tais como a quilometragem percorrida e ainda existe a possibilidade de registar quaisquer eventos observados na via ao longo da medição, tais como soldaduras, defeitos superficiais, AMV's, JIC's, etc.

Este equipamento é empurrado manualmente ao longo da linha, estando dotado de dois sistemas de roldanas que assentam sobre cada carril e de sensores analógicos com precisão 1/100mm, que controlam as oscilações da superfície, enviando os dados para um computador de bordo que efetua a descodificação das informações analógicas para o formato digital.

Este aparelho permite fazer análises e avaliações do nivelamento, na cabeça do carril, com precisão para diferentes comprimentos de onda, podendo ir desde 10mm até 3000mm.

Após o armazenamento dos dados, este aparelho regista um gráfico onde nas ordenadas se encontram as variações do comprimento de onda, do desgaste ondulatório dos carris, e nas abcissas encontra-se a quilometragem. Os carris consoante forem o carril direito ou o carril esquerdo, apresentam diferentes cores de linhas.

Régua SECNET

A régua SECNET (Figura 2.18) é um dispositivo de medição, cujo objetivo visa em avaliar o nivelamento e alinhamento localizado na zona da soldadura, mais concretamente, numa base de 1m estando a soldadura no centro dessa medição.



Figura 2.18: Régua SECNET (Prosutec, 2013)

Na Figura 2.19 pode-se observar as várias formas de uso de medição da régua.

Este dispositivo é utilizado quando são pedidas inspeções a soldaduras executadas, por forma a avaliar a sua conformidade em questões de nivelamento e alinhamento para depois, se necessário, prosseguir-se à sua retificação para que seja validada a sua conformidade. Ou seja, é com esta régua que na IP medem o nivelamento e alinhamento das soldaduras aluminotérmicas executadas, por forma a saberem se estas estão com nivelamento e alinhamento, dentro dos limites aceitáveis, estipulados por normas da IP.

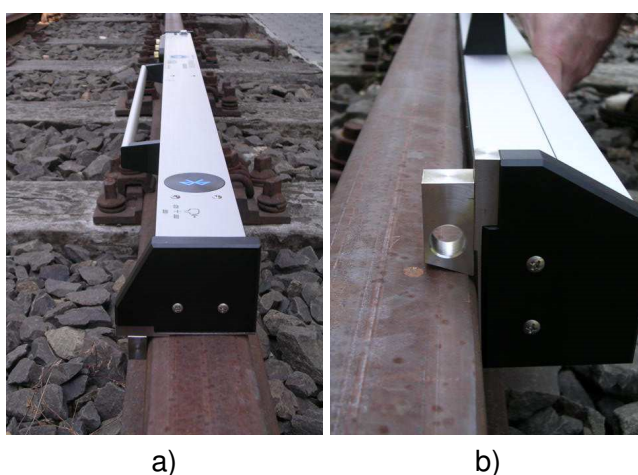


Figura 2.19: Tipo de usabilidade da régua SECNET, em a) para medição do nivelamento e em b) para medição do alinhamento (Prosutec, 2013).

A medição no local, tem como base a colocação da régua em dois pontos de apoio do carril, estando estes nas extremidades do dispositivo, onde se tenta colocar ao centro do dispositivo a zona localizada da soldadura, obtendo como resultando um gráfico de medição centrado na zona desta.

Na Figura 2.20 pode-se observar esses gráficos, que têm como intervalo no eixo das abcissas $[-0.5\text{m}, 0.5\text{m}]$ o que corresponde à base de medição de 1m, situado no ponto 0 a localização da soldadura, tendo esta dimensão de 25mm. No eixo das ordenadas é representado o valor de nivelamento ou alinhamento, que correspondem aos valores a ter em conta para avaliação das soldaduras.

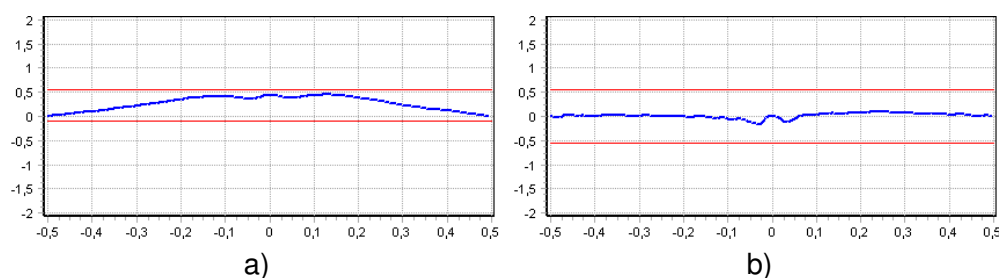


Figura 2.20: Gráficos obtidos das medições da régua, em a) para o nivelamento e em b) para o alinhamento (IP, S.A., 2014)

2.2.3 Limites para Intervenções na Via

Por forma a caracterizar a qualidade geométrica de uma via ferroviária, existem vários documentos normativos que apresentam, em função da velocidade de circulação do veículo circulante, os valores máximos admissíveis, por forma a ser satisfeito cada um dos cinco parâmetros geométricos referidos anteriormente em 2.2.1.

Neste caso, a IP, segundo o documento IT.VIA.018 (2009), estipula os valores para os parâmetros geométricos de acordo com as tolerâncias de alerta, de intervenção e de ação imediata, para os vários tipo de bitola. No entanto neste trabalho, apenas irei apresentar as tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola Ibérica (1668mm) e Europeia (1435mm).

As tolerâncias de alerta (Tabela 2.1), representam o valor do respetivo parâmetro geométrico que, quando for atingido, promove a inclusão do troço na programação de trabalhos de manutenção. A sua definição é da responsabilidade do órgão de manutenção e tem em consideração os limites escolhidos e os meios disponíveis.

Tabela 2.1: Tolerâncias de alerta dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668mm e 1435mm, adaptado (IP, S.A., 2009)

Classe Velocidade [km/h]	VI V ≤ 40	V 40 ≤ V ≤ 80	IV 80 ≤ V ≤ 120	III 120 ≤ V ≤ 160	II 160 ≤ V ≤ 230	I V ≥ 230
Parâmetros [mm]						
Bitola	-7/+25	-7/+25	-7/+25	-6/+25	-4/+20	-3/+20
Bitola Média	n.a./+25	-6/+25	-5/+22	-3/+16	-3/+16	-1/+16
Niv.Longitudinal D1	±18	±18	±16	±15	±12	±10
Niv.Longitudinal D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±20	±18
Alinhamento D1	±15	±15	±11	±9	±8	±7
Alinhamento D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±15	±13
Empeno (base de 3 metros)	±12	±12	±12	±12	±9	±9

As tolerâncias de intervenção (Tabela 2.2), representam o valor do respetivo parâmetro geométrico que, quando for atingido, promove a que o troço seja alvo de ações de manutenção, por forma a impedir que as tolerâncias atinjam o valor de ação imediata. No entanto, se pelo menos dois parâmetros atingirem as tolerâncias de intervenção, estes serão sujeitos aos procedimentos definidos na ação imediata.

Tabela 2.2: Tolerâncias de intervenção dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668mm e 1435mm, adaptado (IP, S.A., 2009)

Classe Velocidade [km/h]	VI V ≤ 40	V 40 ≤ V ≤ 80	IV 80 ≤ V ≤ 120	III 120 ≤ V ≤ 160	II 160 ≤ V ≤ 230	I V ≥ 230
Parâmetros [mm]						
Bitola	-9/+30	-9/+30	-9/+30	-8/+30	-5/+23	-4/+23
Bitola Média	n.a./+28	-7/+28	-6/+25	-4/+18	-4/+18	-2/+18
Niv.Longitudinal D1	±21	±21	±19	±17	±14	±12
Niv.Longitudinal D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±23	±20
Alinhamento D1	±17	±17	±13	±10	±9	±8
Alinhamento D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±17	±14
Empeno (base de 3 metros)	±15	±15	±15	±15	±12	±12

As tolerâncias de ação imediata (Tabela 2.3), representam o valor do respetivo parâmetro geométrico que nunca deve ser atingido, sendo necessária correção imediata quando for atingido, ou que o respetivo troço seja sujeito a uma redução

da velocidade permitida ou interdição.

Tabela 2.3: Tolerâncias de acção imediata dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668mm e 1435mm, adaptado (IP, S.A., 2009)

Classe Velocidade [km/h]	VI $V \leq 40$	V $40 \leq V \leq 80$	IV $80 \leq V \leq 120$	III $120 \leq V \leq 160$	II $160 \leq V \leq 230$	I $V \geq 230$
Parâmetros [mm]						
Bitola	-11/+35	-11/+35	-11/+35	-10/+35	-7/+28	-5/+28
Bitola Média	n.a./+32	-9/+32	-8/+27	-6/+20	-6/+20	-4/+20
Niv.Longitudinal D1	± 31	± 28	± 26	± 23	± 20	± 16
Niv.Longitudinal D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	± 33	± 28
Alinhamento D1	± 25	± 22	± 17	± 14	± 12	± 10
Alinhamento D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	± 24	± 20
Empeno (base de 3metros)	± 21	± 21	± 21	± 21	± 15	± 15

Capítulo 3

Soldaduras de Carril

3.1 Tipos de Soldadura

Na ferrovia há duas razões pelas quais os carris são soldados, uma é por haver necessidade de unir dois carris que fraturaram e a outra, sendo esta o principal motivo para a existência de soldaduras na ferrovia, é a constituição da chamada Barra Longa Soldada (BLS - Figura 3.1), que consiste num carril contínuo sem folgas (BLS).



Figura 3.1: Imagem representativa de uma BLS - Carril contínuo sem interrupção de material (IP, S.A., 2017).

Existem diversos tipos de soldaduras utilizadas em caminhos de ferro, no entanto, os principais são: 1) a soldadura aluminotérmica, tratando-se do método mais antigo e mais amplamente utilizado; 2) a soldadura elétrica, ou em inglês flash

butt weld.

Ambas as soldaduras têm a vantagem da continuidade elétrica através de carris, tratando-se de um fator benéfico para as vias com circuitos de sinalização e/ou dispositivos de estação de paragem automática de comboios, entre outros, que requerem e exigem boa continuidade elétrica.

Neste documento, irão apenas ser abordados estes dois tipos de sistemas de soldagem, a soldagem aluminotérmica e a soldagem elétrica.

A soldagem elétrica (Figura 3.2), é um tipo de soldagem por resistência que não usa metais de enchimento. A soldadura elétrica consiste na união de duas peças metálicas, que se colocam extremo a extremo na mesma secção, separadas a uma distância ínfima pré-determinada com base na espessura do material, da composição do material e das propriedades desejadas da soldadura acabada. Os carris são depois pressionados um contra o outro aquando o início da passagem de corrente elétrica por estes, sendo que é esta corrente que gera calor na superfície de contacto. A corrente é aplicada e o espaço entre as duas peças produz o arco necessário para fundir o metal. Com a temperatura gerada e a pressão entre as duas peças, fica então alcançada a união perfeitamente soldada.



Figura 3.2: Soldadura elétrica de carril (Taringa, 2017)

A soldagem aluminotérmica (Figura 3.3), é uma soldagem que emprega metal fundido para unir permanentemente os condutores. O processo emprega uma reação exotérmica de uma composição térmica para aquecer o metal e não requer nenhuma fonte externa de calor ou corrente. A reação química que produz o calor é uma reação aluminotérmica entre o pó de alumínio e um óxido metálico. Neste caso deixa-se um espaço maior entre os dois carris, sendo este espaço a dimensão desejada para a espessura da soldadura, tendo esta cerca de 25mm. De notar que é neste espaço que se despeja o material fundido para que depois una ambos os carris, criando assim uma continuidade entre eles.



Figura 3.3: Soldadura aluminotérmica de carril (Mechanical Engineering blog, 2017)

A soldadura aluminotérmica, tem uma resistência mecânica superior a outros tipos de soldagem e uma excelente resistência à corrosão. Além disso também é altamente estável quando sujeito a impulsos de curto-circuito. No entanto, o processo é caro em comparação a outros processos de soldagem, pois requer um fornecimento de moldes substituíveis, sofre pela falta de repetibilidade e pode ser impedido por condições de humidade ou mau tempo (quando realizadas in situ).

A diferença principal entre estes dois tipos de soldaduras deve-se ao facto de um juntar dois materiais através de um terceiro em estado de fusão, ou seja, junta dois carris usando material em estado de fusão, resultando o material em estado de fusão na respetiva soldadura aluminotérmica, enquanto o outro tipo de soldadura une os dois materiais através da fusão eléctrica destes, no seu ponto de contacto, sendo que o resultado da fusão entre os dois materiais traduz-se na soldadura eléctrica.

Outra das diferenças é também o tamanho de ambas as soldaduras. Enquanto a soldadura aluminotérmica tem espessura de aproximadamente 25mm, a soldadura eléctrica tem apenas 5 a 6mm de espessura.

Outro fator diferencial é o de as soldaduras eléctricas serem maioritariamente realizadas em estaleiro, pelo que é escassa a sua aplicação em Portugal.

No entanto é também possível aplicar soldaduras eléctricas in situ, mas para o fazer é preciso ter equipamento específico, mais propriamente um veículo (Figura 3.4) bastante dispendioso, pelo que muitas vezes não justifica esse gasto inicial, no caso de não haver essa disponibilidade.

Para a execução de soldaduras tem-se que ter em conta todos estes fatores positivos/negativos, para a decisão de investimento em soldaduras eléctricas ou aluminotérmicas na via. No caso específico de Portugal, as soldaduras eléctricas são apenas realizadas em estaleiro e as aluminotérmicas in situ.



Figura 3.4: Veículo de execução de soldaduras elétricas de carril (Plasser and Theurer, 2017).

Além disso, as soldaduras elétricas in situ não têm a mesma fiabilidade do que em estaleiro, sendo este também um factor a ser discutido para o investimento destas.

3.2 Soldadura Aluminotérmica

Em 1893 o químico alemão Hans Goldschmidt descobriu que a reação exotérmica entre o pó de alumínio e de óxido metálico pode iniciar-se através de uma fonte de calor, a qual produz uma reação aluminotérmica. Isto ocorre por meio de um tipo de composição pirotécnica de alumínio e um óxido metálico. Este é um processo exotérmico, em que se dá uma redução de óxido de ferro por alumínio. O alumínio é oxidado pelo óxido de outro metal, usualmente óxido de ferro (ferrugem). Foi patenteado por Hans Goldschmidt em 1895. Por conseguinte, a reação é designada "reação Goldschmidt" ou "processo de Goldschmidt".

3.2.1 Execução

O processo de execução de uma soldadura aluminotérmica, objeto das normas utilizadas pela IP, é o "PLC" (Pré-aquecimento limitado). O processo utiliza moldes pré-fabricados com calafetagem e um cadinho normal (Porsol, 2002).

Para evitar os enganos na constituição de listas no estaleiro, o conjunto dos consumíveis essenciais necessários à execução de uma soldadura é acondicionado numa mesma e única embalagem chamada Kit de soldadura. Cada Kit de soldadura para o presente processo é constituído por (Porsol, 2002):

- Dois meios moldes, uma placa de fundo e um tampão;

- Uma carga acondicionada em saco plástico estanque (material que vai ser fundido para executar a soldadura);
- Um casquilho de disparo automático, com a sua magnésia;

Os produtos da reação química, já referidos anteriormente, são o óxido de alumínio + ferro elementar livre e uma grande quantidade de calor.

Os reagentes são geralmente pulverizados e misturados com um aglutinante para manter o material sólido e impedi-lo de se separar.

O processo de execução de uma soldadura em plena via consiste nos seguintes passos (Porsol, 2002; IP, S.A., 1969):

- Preparação dos carris a soldar
- Regulação da junta
- Montagem dos moldes/calafetagem (selagem)
- Pré-aquecimento
- Colocação do Cadinho
- Vazamento do material
- Remoção do molde e trinchagem
- Esmerilagem
- Acabamento

É recomendável na execução dos trabalhos de soldagem :

- Executar as soldaduras a uma temperatura superior a -5° C.
- Trabalhar só em vias interditas, e sempre virado para a via em circulação.

Preparação dos carris a soldar

Durante a preparação da junta a soldar, deve-se ter em atenção a sua preparação, realizando uma limpeza (desengordurar) e escovagem das pontas dos carris, até que se tornem esbranquiçadas, caso seja necessário, para eliminar todo o vestígio de oxidação (ferrugem).

Deve-se realizar o controlo da qualidade geométrica dos topos a soldar (carril estragado - desgaste de patinagem, carril novo - tolerâncias de laminagem), tal como controlo de fissuração nos carris.

Ou seja, deve ser garantido que o carril se apresenta em boas condições, isto é, sem defeitos aparentes como empenamentos ou mossas.

Regulação da junta

Os carris devem apresentar as superfícies de união perpendiculares ao eixo longitudinal e livres de óxido prejudicial.

Se os perfis dos carris a serem unidos forem diferentes, o alinhamento deve ser realizado em correspondência com as superfícies de rolamento da cabeça do carril, de topo e lateral.

A regulação da junta a soldar comporta quatro parâmetros:

- A folga;
- O embicamento (em perfil);
- O alinhamento (em planta);
- A inclinação;

A regulação é particularmente importante, dado que determina a qualidade geométrica final da soldadura e a sua duração.

Se uma soldadura é selada (embicamento negativo), haverá choques em cada circulação de composições. Se uma soldadura ficou alta (embicamento muito forte), as travessas irão deslocar-se. Nestes dois casos, haverá destruição progressiva da via e/ou fratura da soldadura. Para se efetuar a regulação de uma junta, será necessário utilizar cunhas de madeira ou outro material que não deixe marcas no carril.

De um modo geral, durante as operações de regulação de uma junta, convém serem evitados os choques que danifiquem o carril. Por isso são desaconselhados os martelos e as cunhas de aço. Para uma maior facilidade, segurança e rapidez, aconselha-se o emprego dos cavaletes de regulação.

a) Folga da junta.

É o espaço livre entre dois carris a soldar. A folga deve ter o valor de 25 mm +/- 2mm.

Os topos defeituosos (defeitos pontuais), devem ser removidos por corte após medição do arco formado pelo carril quando este se encontra solto de qualquer fixação. Esta verificação pode ser feita com régua de metro.

b) Regulação do Embicamento ou nivelamento

Antes da execução da soldadura, os carris devem formar um "bico" por forma a que depois da soldadura executada, pelo efeito do arrefecimento, os carris não selem na zona soldada, e, por outro lado, que haja uma sobre-espessura que permita o esmerilamento.

O embicamento mede-se conforme se indica na Figura 3.5.

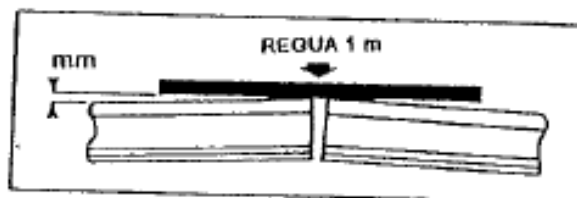


Figura 3.5: Embicamento (Porsol, 2002)

As medições são realizadas a cada 50cm para cada lado da junta, nas extremidades da régua.

As tolerâncias de receção são fixadas pela Rede Ferroviária.

c) Alinhamento

O alinhamento avalia-se na face interna (lado interior da via)

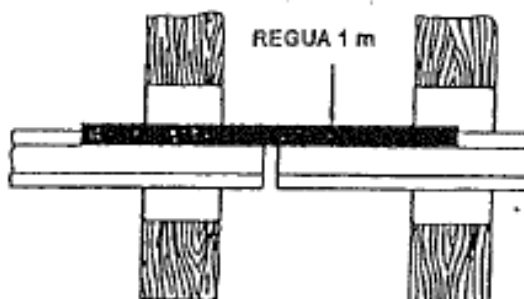


Figura 3.6: Alinhamento (Porsol, 2002)

d) A inclinação

Trata-se de verificar a inclinação relativa dos dois carris que irão ser soldados.

Deve haver o alinhamento simultâneo:

- na face interna das cabeças dos carris (Figura 3.7 - 1);

- na base da alma dos carris (Figura 3.7 - 2);

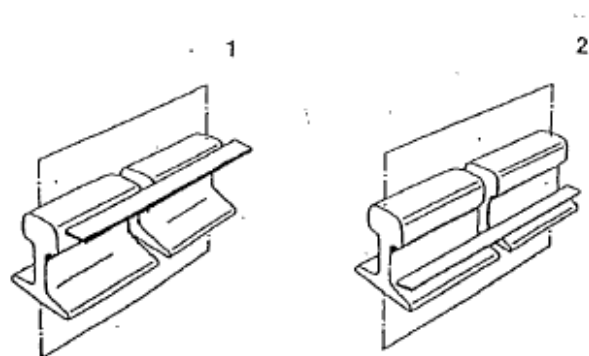


Figura 3.7: Inclinação (Porsol, 2002)

Os carris novos e do mesmo perfil devem corresponder-se o mais exatamente possível. Os carris devem estar bem alinhados e colocados topo a topo com uma folga entre si podendo variar entre 14 e 24mm.

Montagem dos moldes/calafetagem (selagem)

A aplicação dos moldes nos carris para efeitos de soldadura devem ser executados com boa areia de fundição e bem compactada. Estes moldes podem ser fabricados na altura da soldadura ou pré-fabricados e endurecidos em estufa.

Os moldes devem ser montados no eixo da junta, por cima dos carris.

Os defeitos existentes no perfil do carril (rebarbas) que perturbem a colocação dos moldes, deverão ser removidos por esmerilamento.

Se houver existência de um furo na alma do carril, o mesmo deve ficar situado fora da zona de aplicação do molde. Recomenda-se que se deixe uma distância de 100mm entre a ponta do carril a soldar e o eixo do furo. No entanto devem ser seguidas as regras impostas pela Rede Ferroviária. No caso de extremidades eclissadas, devem prever-se dois cortes (Motivo: Encalcamento das pontas).

Durante a montagem dos moldes, deve-se certificar o seu alinhamento, estanquidade no fundo e também garantir a sua fixação.

Deve-se aplicar uma boa calafetagem, pois esta tem por fim garantir a estanqueidade do conjunto moldes/carris, pelo que veda os contornos não ajustados. Para calafetar, deve ser aplicado à mão um cordão homogêneo de massa em todos os contornos dos moldes.

Após calafetagem, deve-se posicionar o recuperador de jorra (escorias) e calafetar o intervalo entre o recuperador e o molde.

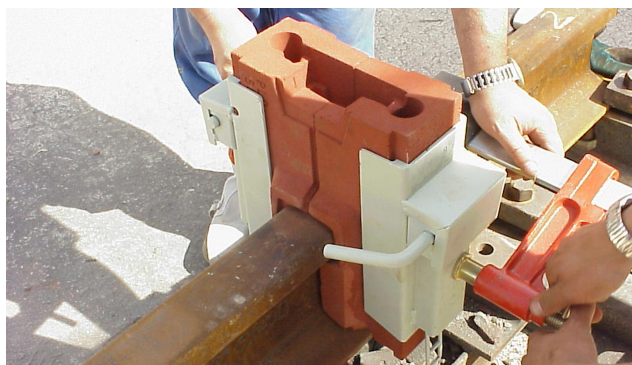


Figura 3.8: Molde para execução de soldadura aluminotérmica (Interempresas, 2017)

Pré-aquecimento

O pré-aquecimento é uma operação muito importante. Esta operação tem como finalidade, a de remover a humidade residual dos moldes e de elevar a temperatura dos carris e dos moldes. O pré-aquecimento faz-se por meio de um maçarico próprio, alimentado por ar e propano ou gasolina.

Aplicando o molde na junta a soldar e verificado que este se encontra bem centrado com a junta, é então realizado o aquecimento dos carris de modo a dar-lhes uma temperatura igual a 800°C, que corresponde a uma coloração do carril a um vermelho-escuro na cabeça e de um vermelho-cereja na zona da patilha. A coloração deve ser igual nos dois topos dos carris.

O aquecimento é feito com o auxílio de maçaricos a gás propano, bem dirigidos para o molde, de modo a dar um aquecimento uniforme e bem regulado a fim de evitar oxidações do material.

De notar que não deve haver perda de tempo entre o final do pré-aquecimento e o vazamento, pelo que as seguintes operações devem decorrer sem perda de tempo.

Colocação do Cadinho

Cadinho ou crisol é um recipiente em forma de pote, normalmente com características refratárias, com resistência a temperaturas elevadas, no qual são fundidos materiais a altas temperaturas.

Os cuidados a ter com a preparação do cadinho são condição essencial para os bons resultados de uma soldadura (o vestígio de humidade é proibido). A cada novo dia, antes da execução da primeira soldadura, o cadinho deve ser cuidadosamente seco.

Um cadinho mal preparado, pode trazer consequências graves para a qualidade

da soldadura.

Vazamento do material

Após o pré-aquecimento é colocado sobre o molde o cadinho. Este contém os elementos de soldadura, onde é provocada a fusão do óxido de ferro pelo alumínio e, logo que a massa esteja totalmente fundida, é aberto o fundo do cadinho, em que o material fundido é vertido e o mesmo enche o molde. Estas operações deverão ser muito rápidas para evitar o arrefecimento dos carris.

O cadinho é, em seguida, retirado, assim como o conjunto de peças necessárias à sua utilização.

Remoção do molde e trinchagem

Depois do vazamento, é necessário haver um período de espera, especificado pelo fabricante do material da soldadura, prosseguindo-se a desmoldagem e o corte das rebarbas, por meio de trinchagem. O material de enchimento que esteja saliente devido ao vazamento, é removido por fratura, através de simples pancadas, sem danificar o perfil do carril. No fim deste passo deve-se deixar a soldadura arrefecer por forma natural.

Esmerilagem

A esmerilagem, com remoção do metal excedente, é uma ação obrigatória antes de permitir qualquer circulação ferroviária sobre a soldadura.

Não deve ser deixada uma sobre-espessura de metal superior a 5mm, na cabeça do carril, tanto na face superior como na face lateral de rolamento.

A esmerilagem tem lugar logo que a soldadura fique suficientemente fria.

Acabamento

A esmerilagem de acabamento tem por fim suprimir as discontinuidades geométricas devidas à soldadura e, ainda, permitir o seu controlo.

Deve também proceder-se à limpeza completa da soldadura, por fim a eliminar todos os vestígios de areia ou massa refratária, assim como remover todas as rebarbas.

A soldadura não deve também apresentar-se com arestas vivas.

Por fim, após toda a execução, o soldador em serviço tem ainda que realizar a verificação de todo o trabalho feito, tal como verificação do aspeto da soldadura e controlar a sua geometria final.

A soldadura não deve apresentar:

- Soluções de continuidade na superfície de rolamento dentro da zona fundida, tais como poros, defeitos de fusão e traços ou riscos provocados durante o corte a frio;
- Defeitos importantes tais como inclusões de corindon ou de areia e marcas de retração em particular;
- Deformações importantes das bossagens;

É ainda completamente interdito efetuar o enchimento de vazios ou defeitos das soldaduras.

As soldaduras por processo aluminotérmico, podem também ser realizadas em estaleiro. O seu processo de execução é exatamente semelhante, apenas havendo a diferença de ser executada num ambiente fechado e controlado e de a soldadura executada em plena via ter em conta os seguintes cuidados que a de estaleiro por norma não tem:

- Não se devem efetuar soldaduras com tempo chuvoso sem que a soldadura esteja protegida.
- Não se deve passar nenhum material circulante sobre a soldadura enquanto esta não arrefecer.
- Os perfis devem corresponder-se o mais exatamente possível.
- Com carris de perfil diferente, o alinhamento deve ser perfeito na superfície de rolamento e na face lateral de guiamento da cabeça.

3.2.2 Fiscalização - Normas de avaliação do Nivelamento de Soldaduras

Após a realização da soldadura é necessário uma equipa de inspeção deslocar-se à via, por forma a avaliar as soldaduras executadas, analisando o seu enquadramento dentro das respetivas normas de conformidade estipuladas.

Nesse contexto o documento GR.PR.VIA.006 (IP, S.A.), tem como objetivo regular a emissão do certificado de conformidade referente a soldaduras aluminotérmicas, no contexto da receção dos trabalhos. Este procedimento aplica-se nas fases de receção de trabalhos em obras de construção de linhas novas ou renovadas e em trabalhos de manutenção.

A inspeção deverá ocorrer no prazo de 60 dias após a execução da soldadura.

Este documento aborda vários aspetos a inspecionar em todas as soldaduras aluminotérmicas realizadas, avaliando-se em cada caso, as seguintes características:

Tabela 3.1: Características a inspecionar (IP, S.A., 2015)

Características	Tipo de Inspeção
Aspeto exterior	Visual
Geometria	Medição do alinhamento e nivelamento
Sanidade Interna	Auscultação ultrassónica

No entanto, a nível de contextualização deste trabalho, apenas é abordada a característica de geometria da soldadura, mais concretamente o nivelamento.

De notar que para os casos de estudo analisados, foi tido em atenção todas as restantes características além do nivelamento, certificando-se de que estivessem todas dentro dos parâmetros de conformidade.

As medições para avaliação da geometria de soldaduras têm que ser realizadas com recurso a uma régua digital (régua - SECNET) ou por equipamento alternativo que produza resultados equivalentes, preferencialmente com capacidade para compensar de forma automática o plano de referência da face de guiamento do carril em curva, diretamente relacionado com o traçado da via em planta, no local (IP, S.A., 2015).

Avaliação do Nivelamento

Para avaliação do nivelamento, definiu-se uma variável, designada por variação do parâmetro nivelamento (ΔN). A variação do parâmetro nivelamento (ΔN) é a máxima diferença, positiva e/ou negativa, entre a geometria real da mesa de rolamento e um plano de referência perfeitamente nivelado, ao longo de 1 metro de extensão centrado na soldadura, apoiado nas extremidades (pontos de interseção com a mesa de rolamento do carril).

O ΔN é positivo sempre que, em relação ao plano de referência, se identifique elevação da geometria real, sendo negativo em caso de depressão.

Para classificação do parâmetro nivelamento, associa-se o ΔN positivo à tolerância superior do critério ($\Delta N_{\text{Máx}}$), o ΔN negativo à tolerância inferior ($\Delta N_{\text{Mín}}$), ou a ambas (respetivamente), caso se verifiquem ΔN positivos e negativos na mesma medição (ver Figura 3.9) (IP, S.A., 2015).

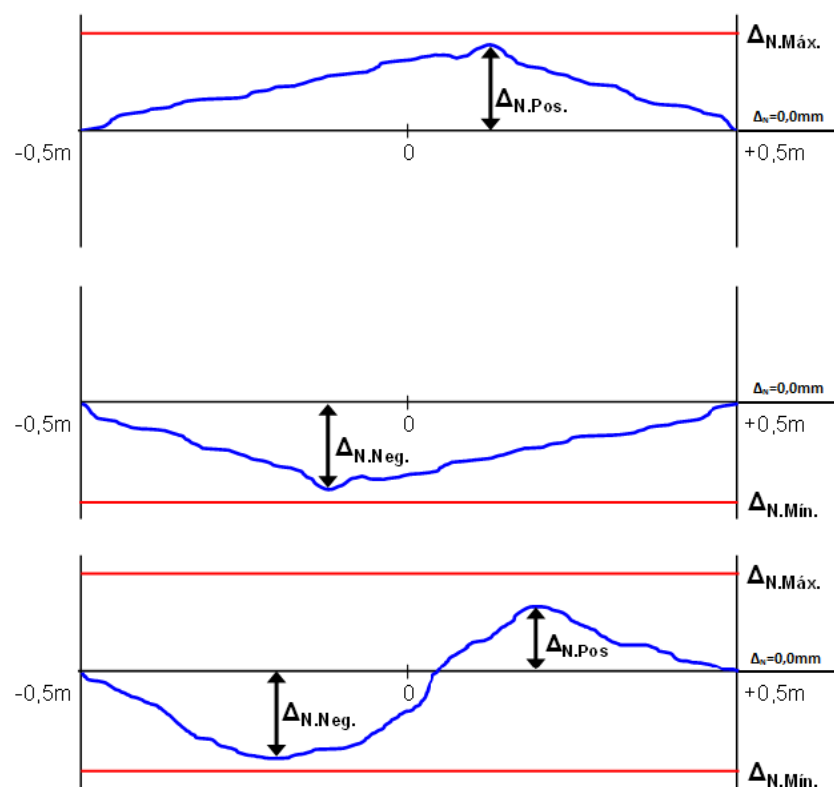


Figura 3.9: Representação dos diferentes casos de ΔN máximos, positivos e negativos (IP, S.A., 2015)

Distinguem-se 4 níveis de avaliação do parâmetro nivelamento da soldadura:

Tabela 3.2: Critérios para avaliação do nivelamento de soldaduras (IP, S.A., 2015)

Nível	Critério	Classificação	
		Carril novo ou em conformidade com o PR.VIA.002	Restantes Casos
1	$\Delta N.Mín.=0mm$ e $\Delta N.Máx.\leq +0,5mm$	Conforme	Conforme
2	$0mm > \Delta N.Mín. \geq -0,5mm$ e $\Delta N.Máx.\leq +0,5mm$	Não Conforme	Conforme
3	$\Delta N.Mín. \geq -0,5mm$ e $\Delta N.Máx. > +0,5mm$	Não Conforme	Não Conforme
4	$\Delta N.Mín. < -0,5mm$	Não Conforme	Não Conforme

3.2.3 Comportamento e vida útil

No que toca a este capítulo, tanto o comportamento como a vida útil de uma soldadura, são ambos difíceis de quantificar, pelo que ainda não houve nenhum estudo que tratasse deste assunto nem existe nenhuma norma oficial que quantifique estes fatores.

No entanto, no que toca à vida útil de uma soldadura, esta é estimada que seja igual ao da via onde foi executada, que depende tanto do tipo de via, como das funções para que foi "criada", velocidade de circulação permitida, ou seja, ações dinâmicas que são aplicadas, carga máxima permitida, carril novo, via nova, etc.

Nas tabelas seguintes (Tab. 3.3 e 3.4) é possível entender melhor os tipos de via separados por grupos, com os respetivos anos expectáveis de duração e carga permitida de circulação. No entanto tal como os próprios materiais da via, as soldaduras estão habilitadas a possíveis intervenções ao longo do seu tempo útil, podendo estas após inspeções à via e concluindo que sejam necessárias intervenções, ser substituídas ou efetuadas recargas, entre outras manutenções.

Tabela 3.3: Ciclo de vida dos ativos da subclasse Via em função da carga e função do tipo de via

Grupo (UIC 714R)	Vida útil (anos)		
	Via Clássica	Via Renovada	Via Modernizada
G1	20	25	30
G2	20	25	35
G3	20	25	40
G4	25	30	45
G5	30	35	50
G6	30	40	50

Tabela 3.4: Grupos de classificação das linhas em função da carga

Grupo (UIC 714R)	Tf (carga - ton/dia)
G1	$Tf > 130.000$
G2	$80.000 < Tf \leq 130.000$
G3	$40.000 < Tf \leq 80.000$
G4	$20.000 < Tf \leq 40.000$
G5	$5.000 < Tf \leq 20.000$
G6	$Tf \leq 5.000$

No que toca ao comportamento das soldaduras, é de esperar que tenham uma evolução do seu nivelamento no sentido descendente ao longo do tempo, por efeito de desgaste do material, sendo que, o processo de evolução do estado da soldadura depende de diversos fatores:

- Estado da infraestrutura da via (estado da sub-estrutura e eventual "cama feita");
- Eventuais defeitos/eventos próximos da soldadura que tenham influência no aumento das ações dinâmicas com a passagem dos veículos devido à proximidade da soldadura;

- Estado inicial da soldadura (pode aumentar as ações dinâmicas);
- Estado interno da soldadura;

Capítulo 4

Desgaste da via na zona das soldaduras

Neste capítulo descreve-se sumariamente o conjunto de dados disponibilizados pela IP, S.A., assim como a descrição dos casos de estudo de soldaduras, toda a metodologia de análise desenvolvida bem como a análise aos resultados finais obtidos para alguns dos casos de estudo.

Os casos de estudo analisados situam-se num troço de cerca de 12 quilómetros com via dupla que, por razões de confidencialidade, não será identificado. Este troço teve uma renovação no início de 2013, estando esta dividida em três fases. A primeira em 2013, e as restantes em 2014 e 2016. Todas as soldaduras à qual se obteve informação foram executadas em cada uma dessas fases de renovação. A renovação deste troço passou principalmente pela substituição da super-estrutura, sendo a sub-estrutura apenas alvo de ataques mecânicos pesados (AMP's) ao longo destes anos.

4.1 Descrição genérica dos dados da via analisados

Dados referentes às inspeções regulares com o veículo EM-120:

- Desgaste Ondulatório
- Nivelamento Longitudinal

Obteve-se dados referentes às inspeções desde 2013 até 2017, mais propriamente de Nivelamento Longitudinal D1, sendo este o parâmetro mais analisado. Com estes dados conseguiu-se criar gráficos por forma a serem posteriormente usados para análise.

Dados referentes às manutenções:

- Histórico de ataques mecânicos pesados;

Estes dados são importantes na análise dos gráficos de nivelamento longitudinal D1 para que, ao longo do seu espaço temporal de análise, se saiba o local do troço que foi sujeito a uma manutenção que alterasse o nivelamento, bem como a data da manutenção. Com isto consegue-se saber que uma alteração incomum, observada no nivelamento em D1, não se trata de uma alteração natural mas sim forçada.

Dados referentes à execução das soldaduras:

- Partes diárias técnicas;
- Relatórios de datas de execução;

As partes diárias técnicas são relatórios elaborados pela equipa de soldadores, habitualmente contratados externamente, na altura da execução das soldaduras. Estes relatórios contêm informações tanto do número de soldaduras executadas, como a localização e data de execução destas.

No entanto é de referir que estes relatórios de trabalhos não são sempre preenchidos de igual forma, ou seja, nem sempre um relatório contém as informações anteriormente referidas, pelo que existem relatórios que pouca informação fornecem, estando dependentes do soldador que as preenche.

Os relatórios de datas de execução, são elaborados pelas equipas externas de execução de soldaduras, que disponibilizam, em alguns casos, esta informação relativamente às soldaduras. Por norma estes relatórios são provenientes das partes diárias técnicas, sendo complementares a estas.

Dados referentes às inspeções das soldaduras executadas:

- Relatórios de Recepção;
- Medições Régua SECNET;

Os Relatórios de Recepção são elaborados face ao pedido de execução de soldaduras em que, após a execução destas, é necessário uma equipa ir ao local realizar inspeções às mesmas. Neste caso, ao contrario da execução das soldaduras que é realizada por uma equipa externa, a inspeção das soldaduras é realizada por uma equipa própria da IP que está encarregue deste trabalho.

Estes Relatórios são realizados na primeira inspeção após execução das soldaduras e também numa segunda inspeção após a retificação das soldaduras que foram classificadas como não conformes na primeira inspeção.

Tal como já referido, estes relatórios são elaborados pela IP, por uma equipa própria de inspeção, e contêm informação sobre a localização da soldadura assim como a geometria obtida pela régua SECNET, sanidade interna e aspeto exterior.

No entanto é de referir que os dados de localização que complementam este relatório são elaborados por uma equipa diferente da que executou as soldaduras. Por este motivo, uma soldadura pode conter uma informação de localização diferente no Relatório de Recepção em comparação com o relatório das Partes diárias técnicas. Estas diferenças podem ser da ordem de poucos metros.

As medições da régua SECNET correspondem a dados referentes à obtenção do nivelamento de cada soldadura. É com estas medições que o nivelamento é avaliado, juntamente com as normas de avaliação, e incluído nos Relatórios de Recepção com o respetivo resultado.

Dados referentes a inspeções dedicadas a este estudo:

- Dados de eventos e RMF;
- Medições de Régua SECNET 2017;

Estes dados são referentes a uma inspeção dedicada para este estudo, com o intuito de complementar a informação já detida assim como para se obter dados mais atuais. A inspeção realizada teve como principal equipamento de medição o dispositivo RMF, onde se analisou todo o troço, em ambas as vias, e onde foram registados todos os eventos, que iam sendo observados ao longo do percurso (por exemplo, soldadura, JIC (Junta Isolante Colada), AMV, Cróssima, pontão, etc). Com esta informação foi possível conjugar os dados obtidos desta análise com os respetivos da EM-120, que não contém a informação detalhada de eventos, como foi possível obter com o dispositivo RMF. De notar que, com esta inspeção à via com o dispositivo RMF, foi possível detetar mais soldaduras do que aquelas sobre as quais havia informação.

Além disso foram realizadas medições com a régua SECNET numa escolha prévia de soldaduras, tratando-se neste caso apenas de soldaduras executadas em 2013, podendo assim realizar comparações entre medições de régua de 2013 e 2017.

De notar que, a informação de medições da régua SECNET em 2017 é de tal forma importante dado que estas medições apenas são obtidas na execução das soldaduras.

Organização de dados

Após a obtenção da informação anteriormente referida, foi necessário organizá-la e conjugá-la numa base de dados coerente e, tanto quanto possível, isenta de erros de identificação.

Neste contexto de organização de dados, foi inicialmente realizado um ficheiro Excel com um registo cronológico de atividades, onde foram incluídas as inspeções regulares da EM-120, as datas de execução de soldaduras e as datas de execução de manutenções (AMP's). Este ficheiro facilitou na análise das inspeções permitindo saber que soldaduras já teriam sido executadas. Além disto, ao realizar uma análise temporal entre inspeções, permitiu saber se houve existência de alguma ação de manutenção na via. Este ficheiro teve como base os dados referentes às inspeções regulares, às manutenções e à execução das soldaduras.

Além deste primeiro ficheiro, foi realizado um outro onde foram incluídas todas as soldaduras executadas desde 2013 organizadas por via (ascendente ou descendente), por carril (esquerdo ou direito) e com orientação de PK menor para o maior. Este ficheiro contém ainda a informação de cada soldadura acerca do PK em que se localiza, data de execução, ID (número de identificação relativo aos relatórios de recepção), datas respetivas aos resultados da régua em fase de execução e retificação, se fosse o caso, incluindo também a informação relativa aos metros a que estaria a seguinte soldadura. Este documento permitiu saber quantas soldaduras seria possível visualizar, num certo limite de PK a analisar, assim como perceber a antiguidade dessas soldaduras para se obter um maior período de análise. Este ficheiro teve como base os dados referentes à execução das soldaduras e dados referentes às inspeções das soldaduras executadas.

Além destes ficheiros criados foi também necessário organizar os dados referentes às inspeções regulares numa base de dados em Matlab. Nessa base de dados foram criados grupos de dados para cada inspeção onde cada uma contém, separadamente, dados referentes ao nivelamento obtido em cada carril (esquerdo ou direito), respetivos comprimentos de onda (D1 e D2) e dados sobre o PK. Com esta base de dados criada simplificou-se a análise baseando-se esta em grupos de dados alusivos à inspeção.

4.2 Casos de estudo a analisar

Devido à vasta informação obtida e à quantidade de amostras existentes de soldaduras que foram executadas no troço, foi realizada uma seleção por forma a obter-se um maior período temporal para análise. Para tal considerou-se analisar apenas as soldaduras executadas na fase de renovação de 2013, obtendo-se assim um período de análise desde 2013 até 2017. No entanto, na fase de renovação de 2013 foram executadas cerca de 116 soldaduras, pelo que foi necessário, para este estudo, limitar o número de amostras a analisar, devido ao tempo disponível para análise.

Dentro deste grupo de soldaduras executadas em 2013, é possível separa-las por grupos:

- Soldaduras Conformes;
- Soldaduras não Conformes por escassez de material;
- Soldaduras não Conformes por excesso de material;

Conforme se pode observar na Tabela 3.2, as soldaduras consideradas não conformes por escassez de material, são soldaduras cujo nivelamento após a sua execução se registou abaixo de 0mm. Enquanto que as não conformes por excesso de material são soldaduras cujo nivelamento se registou acima de +0.5mm.

Dentro destes três grupos decidiu-se então, por forma a limitar as amostras, escolher 20 soldaduras para análise:

- 10 soldaduras não Conformes por escassez de material com nivelamento mais negativo possível;
- 10 soldaduras Conformes com nivelamento mais neutro possível;

Após a escolha das amostras procedeu-se à tentativa da sua análise temporal e de influência no nivelamento da via.

4.3 Trabalhos executados e processos de análise

4.3.1 Localização das Soldaduras

Na tentativa de responder à questão sobre se as irregularidades no nivelamento longitudinal [1m-3m] coincidem efetivamente com locais de soldaduras, começou-se por obter informação acerca de todas as soldaduras que se localizam na zona onde se observou as irregularidades.

Na Figura 4.1 pode-se observar, a azul, o nivelamento filtrado [1m-3m] de uma zona do troço em análise com 300 metros e a vermelho as soldaduras detetadas na zona.

De notar que o PK da medição do nivelamento com a EM-120 pode ter erros associados devido ao seu método de cálculo, podendo este erro ser da ordem dos vários metros, pelo que teve de ser corrigido em todas as análises com dados obtidos da EM-120.

Com esta informação sabe-se que o gráfico de nivelamento precisa de ser ajustado e que a informação da localização das soldaduras é o mais real e próximo devido ao erro de obtenção ser menor.

Na Figura 4.1 começa-se por observar a existência de várias irregularidades que estão bastante próximos das zonas das soldaduras. Passando ao primeiro passo do procedimento, que consiste em admitir que a primeira soldadura que está à esquerda corresponde à irregularidade que lhe está mais próxima, este tem em conta a questão dos gráficos estarem desajustados e de se admitir que estas irregularidades correspondem às soldaduras, no entanto não é algo diretamente conclusivo.

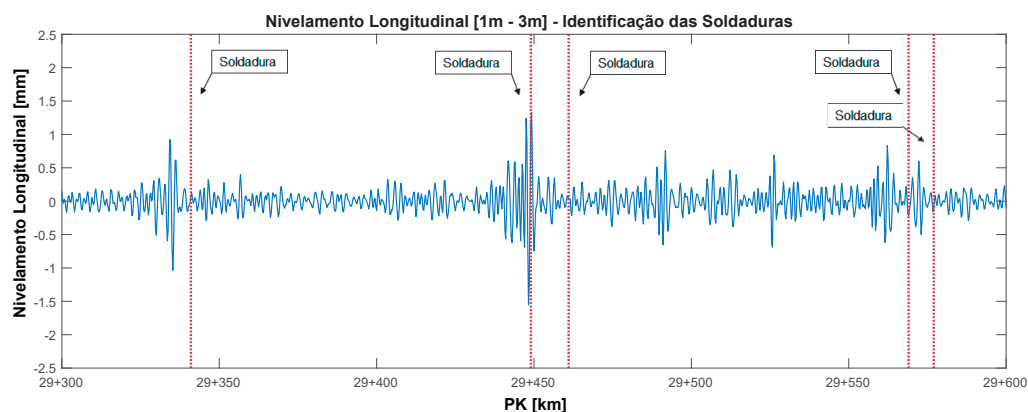


Figura 4.1: Nivelamento filtrado com PK por ajustar

Procede-se então em calcular a distância a que a irregularidade está da zona da soldadura assignada e ajusta-se o gráfico de nivelamento com esta diferença, pois como referido anteriormente o gráfico de nivelamento é aquele que tem erro de localização e precisa de ajuste.

Na Figura 4.2 como é possível observar, após o ajuste, as restantes soldaduras ajustaram na perfeição aos picos que pareciam inicialmente corresponder a estas.

No entanto, como é possível observar, nas duas soldaduras que se encontram no centro do gráfico, há uma irregularidade situada entre estas, ao qual se iniciou uma investigação sobre a sua origem. Após algumas informações obtidas, concluiu-se que esta irregularidade se trata de uma JIC (Junta Isolante Colada).

Esta conclusão acerca da JIC foi possível obter devido à distância entre cada soldadura e a irregularidade ser cerca de 6m. De notar que esta distância de 6m, para cada lado da JIC, é um aspeto comum na execução destas. Além disto, a realização da inspeção com o dispositivo RMF permitiu reforçar esta conclusão devido à obtenção da informação de eventos no troço em análise.

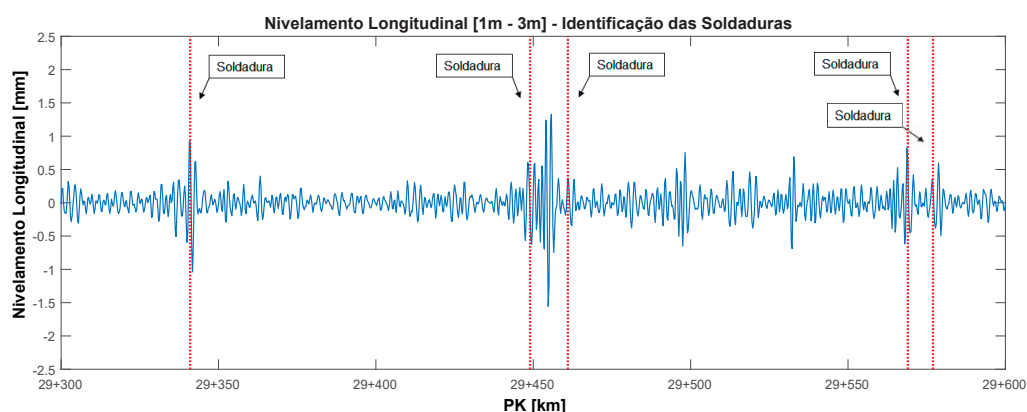


Figura 4.2: Nivelamento filtrado com PK ajustado

Posto isto, conseguiu-se verificar que estas perturbações efetivamente correspondem às soldaduras, visto que ao ajustar-se o gráfico foram correspondidas as soldaduras existentes neste troço às respetivas perturbações observadas.

Concluído este procedimento, conseguiu-se responder a uma das questões colocadas no início da investigação em que as irregularidades observadas que levaram à motivação deste trabalho realmente correspondem a soldaduras. No entanto estas irregularidades podem também corresponder a outros fatores que existam na via, tais como as JIC's.

De realçar que este ajustamento é sempre muito importante para confirmar a identificação das soldaduras, assim como para ajustar os gráficos de nivelamento. Após este ajustamento, durante a análise destes gráficos, pode-se obter a zona observada correspondida com os eventos existentes, assim como analisar as irregularidades e tirar conclusões sobre estas.

Faz-se notar no entanto que, apenas é possível ajustar um gráfico e identificar soldaduras se houverem outras soldaduras na vizinhança que ajudem a confirmar o ajuste de PK, normalmente necessário de efetuar.

4.3.2 Análise do nivelamento longitudinal na gama 1m - 3m

Numa segunda fase procurou-se determinar se o registo da EM-120 na gama 1m-3m (ver Figura 4.2, p.e.) corresponde realmente ao perfil longitudinal da cabeça do carril, nesta gama de comprimentos de onda, ou se contém contribuições (p.e. vibrações) ou erros que afastam este resultado do nivelamento real do carril.

Com a realização de uma inspeção com o equipamento RMF, obtiveram-se dados referentes ao nivelamento na cabeça do carril. De notar que o equipamento RMF permite obter dados de nivelamento com a gama de comprimentos de onda [1m

- 3m], pelo que permite assim realizar uma comparação direta destes dados de nivelamento com os dados que se obteve através da filtragem do nivelamento da EM-120. Permitindo assim responder à questão da correspondência do nivelamento na gama de [1m - 3m].

De realçar as diferenças entre as medições feitas com o RMF e com a EM-120, em que o RMF retira medições a cada 2mm e a EM-120 a cada 25cm, ou seja existe uma grande diferença a nível de obtenção de dados por parte de cada um.

Com isto escolheram-se os dados da inspeção mais recente da EM-120, correspondente a Dezembro de 2016, comparando com a inspeção realizada com o RMF, realizada para este estudo em Maio de 2017.

Tanto a EM-120 como o próprio RMF também contém erros na medição no que toca ao PK. No entanto, por forma a reduzir estes erros, durante a inspeção foram realizadas medições segmentadas em 500m.

Na Figura 4.3 observa-se a comparação entre ambos os gráficos obtidos por parte de cada um dos equipamentos. De realçar que ambos contém desvios relativos ao PK real, pelo que foram ambos ajustados para se realizar esta comparação.

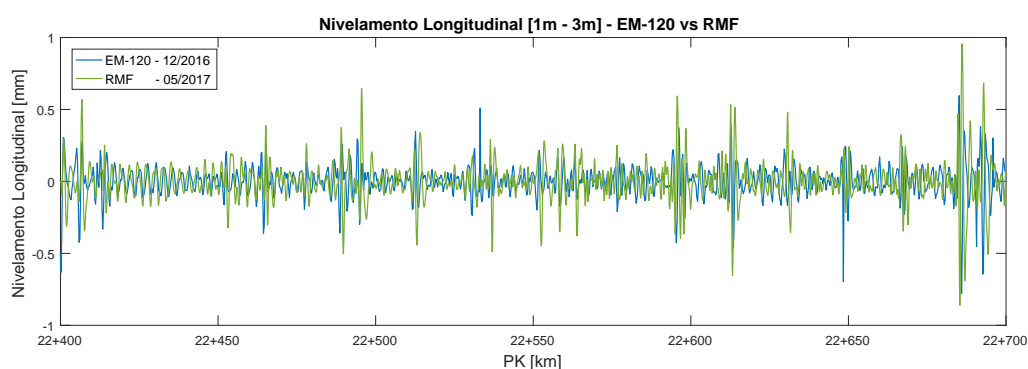


Figura 4.3: Nivelamento Longitudinal obtido com RMF e EM-120, com comprimentos de onda [1m - 3m]

Como se observa, ambos os gráficos contém um comportamento bastante semelhante, ao qual o nivelamento obtido pelo RMF contém amplitudes maiores face ao da EM-120, o que seria de esperar devido à precisão que este garante por conter medições espaçadas de 2mm.

Além disso conseguiu-se também observar que existe alguma correspondência em perturbações de nivelamento. É de realçar a diferença entre datas de cada medição, o que também tem influência nesta comparação.

Na Figura 4.4 é realizada uma aproximação à figura anterior onde se decidiu colocar todos os eventos detetados nesta zona, por forma a comparar a correspondência de eventos e perturbações de nivelamento, assim como também observar melhor a correspondência do nivelamento da via.

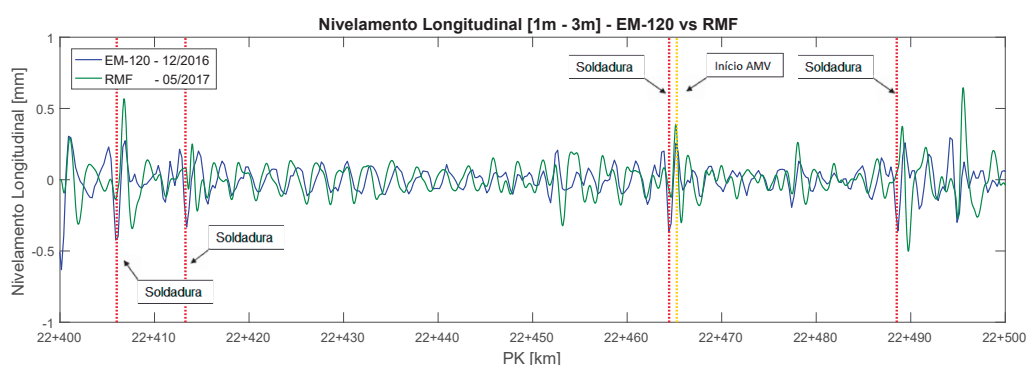


Figura 4.4: RMF vs EM-120, com comprimentos de onda [1m - 3m], linhas verticais vermelhas indicam zonas com soldaduras, linha vertical amarela indica zona com início de AMV

Com esta análise conseguiu-se responder positivamente à questão acerca da correspondência dos dados obtidos pela filtragem do nivelamento D1 da EM-120. É possível observar que existe uma grande correspondência entre ambos, além de que as diferenças que são observáveis são bastante baixas e irrelevantes. De referir que neste estudo os gráficos de comprimento de onda da gama [1m-3m] apenas serão usados para identificação das soldaduras e de obtenção de um primeiro ajuste do PK nas inspeções. De notar ainda que, em ambos os gráficos, é possível verificar a correspondência da perturbação que a existência de soldaduras cria.

4.3.3 Escolha do parâmetro de análise da evolução do nivelamento longitudinal

Pretende-se nesta secção discutir qual o parâmetro mais adequado para avaliar a evolução do nivelamento longitudinal, tal como ele é obtido pela máquina de inspeção EM-120.

Para este efeito efetuou-se um estudo paralelo complementar sobre dados de nivelamento longitudinal obtidos na Holanda, que será descrito de seguida.

Na Figura 4.5, apresentam-se as medições topográficas que representam o nivelamento real da via, obtidas numa linha férrea holandesa (Varandas, 2013).

Estas medições foram efetivamente realizadas desde -20m até +20m de comprimento da amostra. Os valores acima de +20m e abaixo de -20m foram introduzidos de forma fictícia, para se obter uma amostra com comprimento maior.

Este gráfico permite perceber o real comportamento que uma ferrovia tem ao longo do tempo, pelo que, independentemente da sua configuração, vai sempre tender a assentar ao longo do tempo, tal como é possível observar na comparação entre as duas medições.

Nesta figura, em b), observa-se uma filtragem de comprimentos de onda realizada para a figura em a) para um intervalo entre 1m e 25m, o que corresponde a uma medição de nivelamento longitudinal D1.

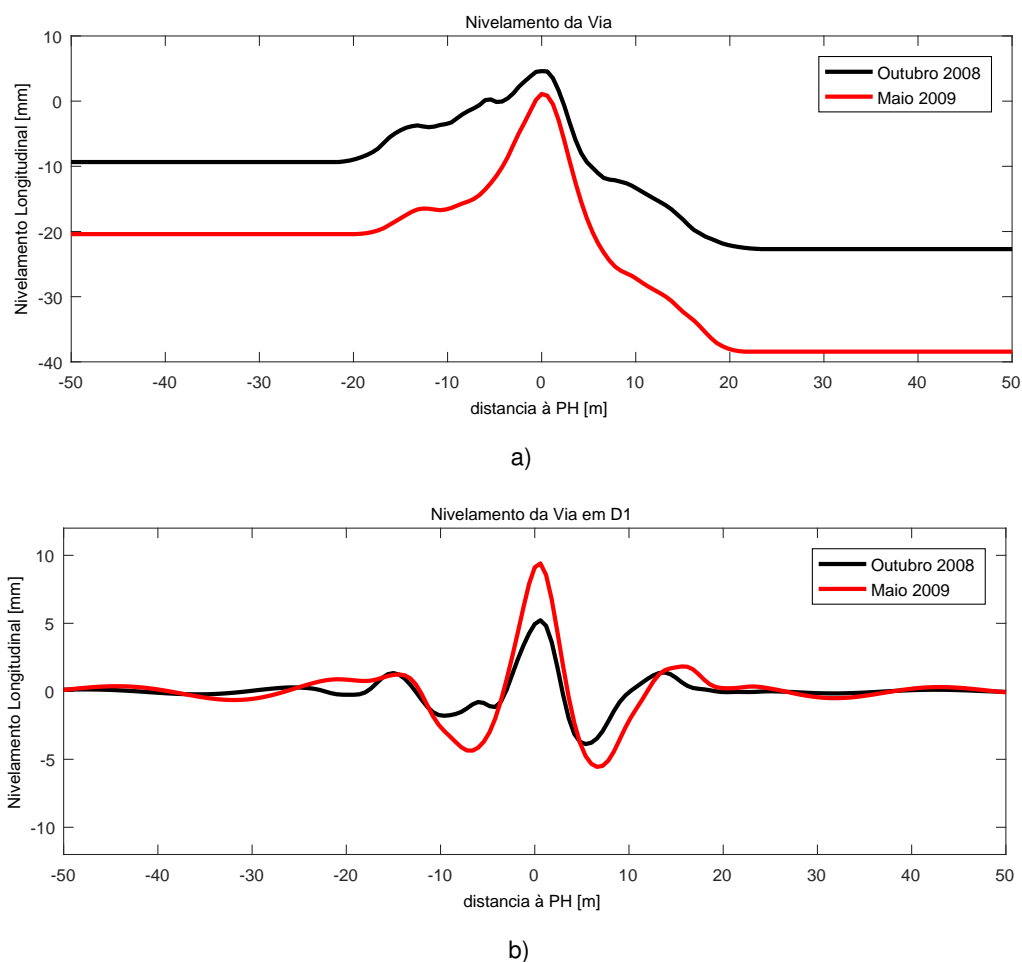


Figura 4.5: Nivelamento topográfico de um caso na Holanda em a) e em b) a respetiva filtragem D1

Estes gráficos permitem perceber o que representam os dados de D1 quando comparados com o nivelamento real da via. Ao observar-se o nivelamento D1, este apresenta três "picos" em que as suas amplitudes aumentam ao longo do tempo, traduzindo-se no assentamento. No entanto, quando se analisa o gráfico de D1, este aparenta estar longe do comportamento real da via, pois há locais que aumentam assim como outros diminuem, sendo difícil de perceber se num certo local que não esteja dentro destes "picos", a sua amplitude tende a aumentar.

Na Figura 4.6 observa-se o mesmo caso analisado anteriormente, embora com uma filtragem para comprimentos de onda entre 25m e 70m, que corresponde a D2. O comportamento é praticamente o mesmo que D1, mas com comprimentos de onda maiores. No entanto retira-se a mesma conclusão.

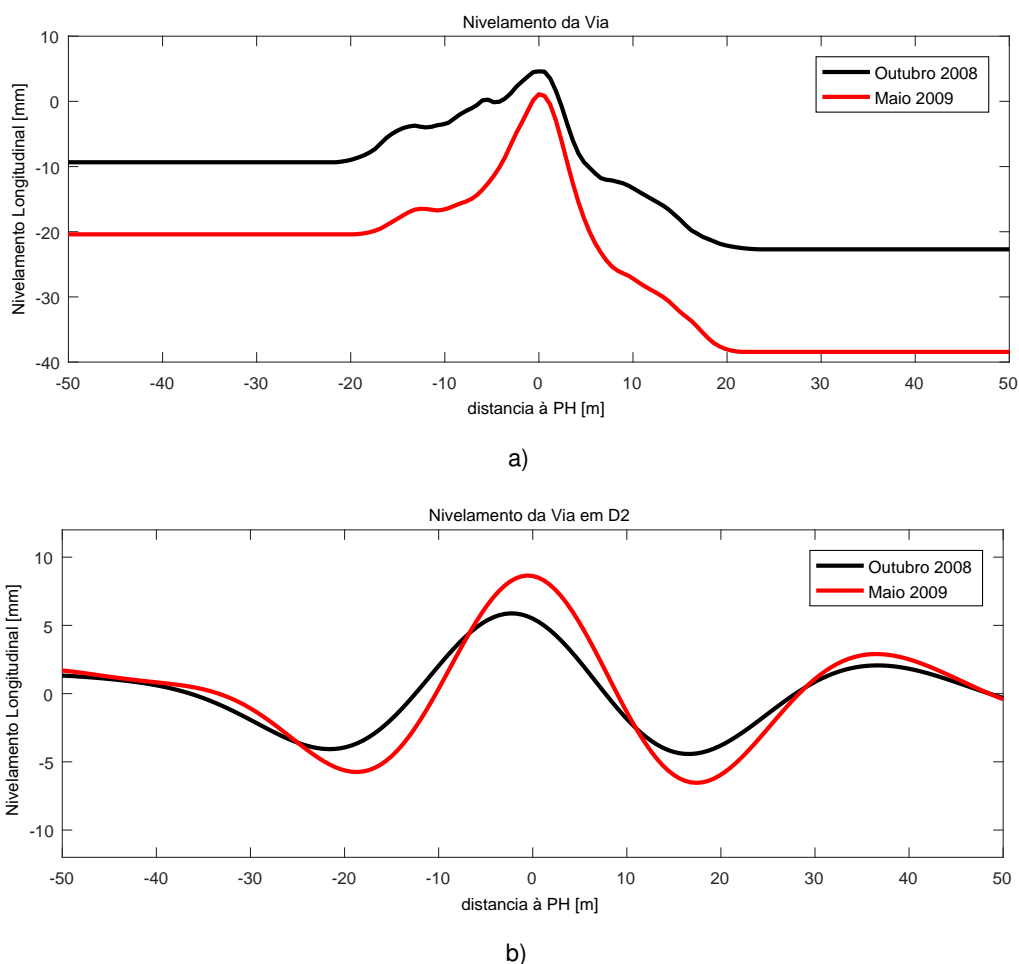


Figura 4.6: Nivelamento topográfico de um caso na Holanda em a) e em b) a respetiva filtragem D2

Esta observação põe em evidência que a escolha da evolução direta do nivelamento D1 (ou D2), por exemplo através da diferença entre curvas de nivelamento obtidas em tempos diferentes, poderá não ser a opção mais eficaz para avaliar qualitativamente a evolução do nivelamento real da via.

Com isto, o valor do desvio padrão foi outro parâmetro em hipótese para se poder analisar a influência das soldaduras no nivelamento.

Na Figura 4.7 observa-se o resultado do desvio padrão do nivelamento deste caso de estudo na Holanda. Este tende a aumentar globalmente quando existe um assentamento global da via. Por outras palavras, um aumento do valor do desvio padrão está diretamente relacionado com o aumento do desnível global da via.

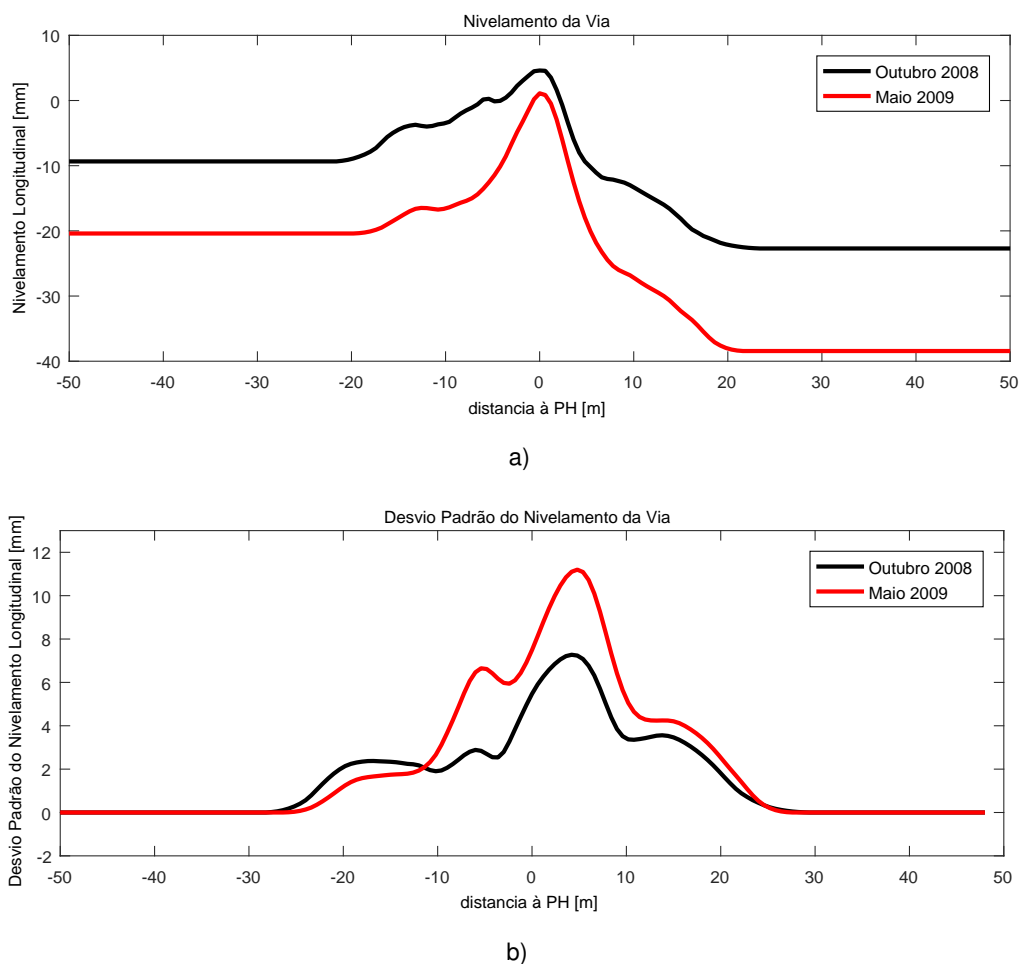
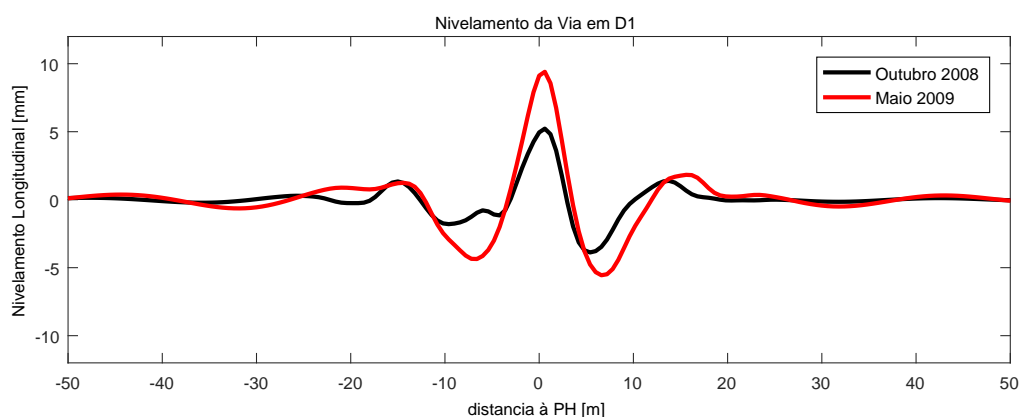


Figura 4.7: Nivelamento topográfico de um caso na Holanda em a) e em b) o resultado do desvio padrão de a)

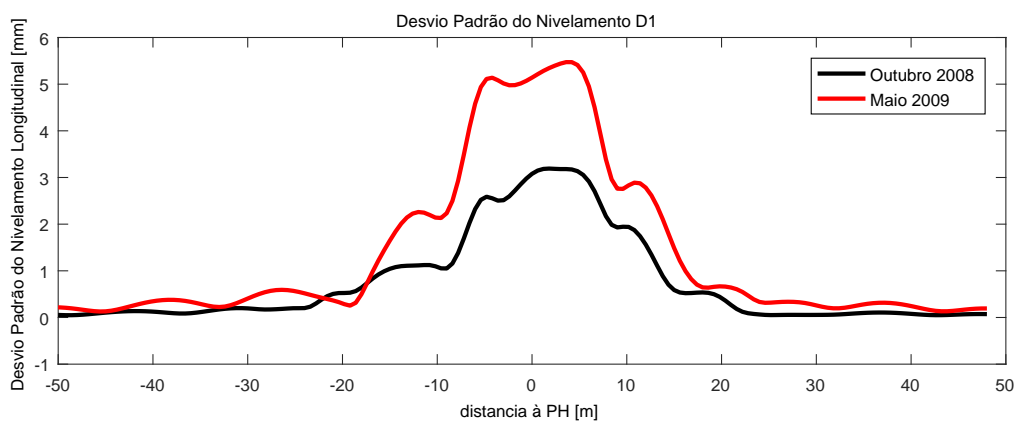
Neste caso, pode-se visualizar que quando está presente na via uma perturbação que se traduza numa influência no nivelamento, é criada uma evidência no desvio padrão (neste caso um ponto alto) como se pode observar em b) no ponto 0. Sabe-se que no ponto 0 existe uma passagem hidráulica, que tem uma rigidez superior ao resto da via, observando-se na figura em a) do nivelamento da via que esta conduz ao desenvolvimento de uma "lomba".

Conclui-se da análise anteriormente exposta que o valor do desvio padrão do nivelamento é um parâmetro adequado para identificar locais com assentamentos locais pronunciados, sejam eles devido à existência de passagens hidráulicas, ou devido à existência de soldaduras, como nos casos de estudo desta dissertação.

Quando é realizado o cálculo do desvio padrão a partir dos dados de Nivelamento D1 (Figura 4.8), sendo estes os dados usados nos casos de estudos obtidos pela EM-120 de inspeções regulares, observa-se que o comportamento é semelhante ao gráfico analisado anteriormente, mesmo que o Nivelamento D1 tenha um comportamento bastante diferente do comportamento real da via. No caso do desvio padrão este apresenta resultados bastantes próximos aos do desvio padrão da via, o que se pode observar na Figura 4.9.



a)



b)

Figura 4.8: Nivelamento topográfico D1 de um caso na Holanda em a) e em b) o resultado do desvio padrão de a)

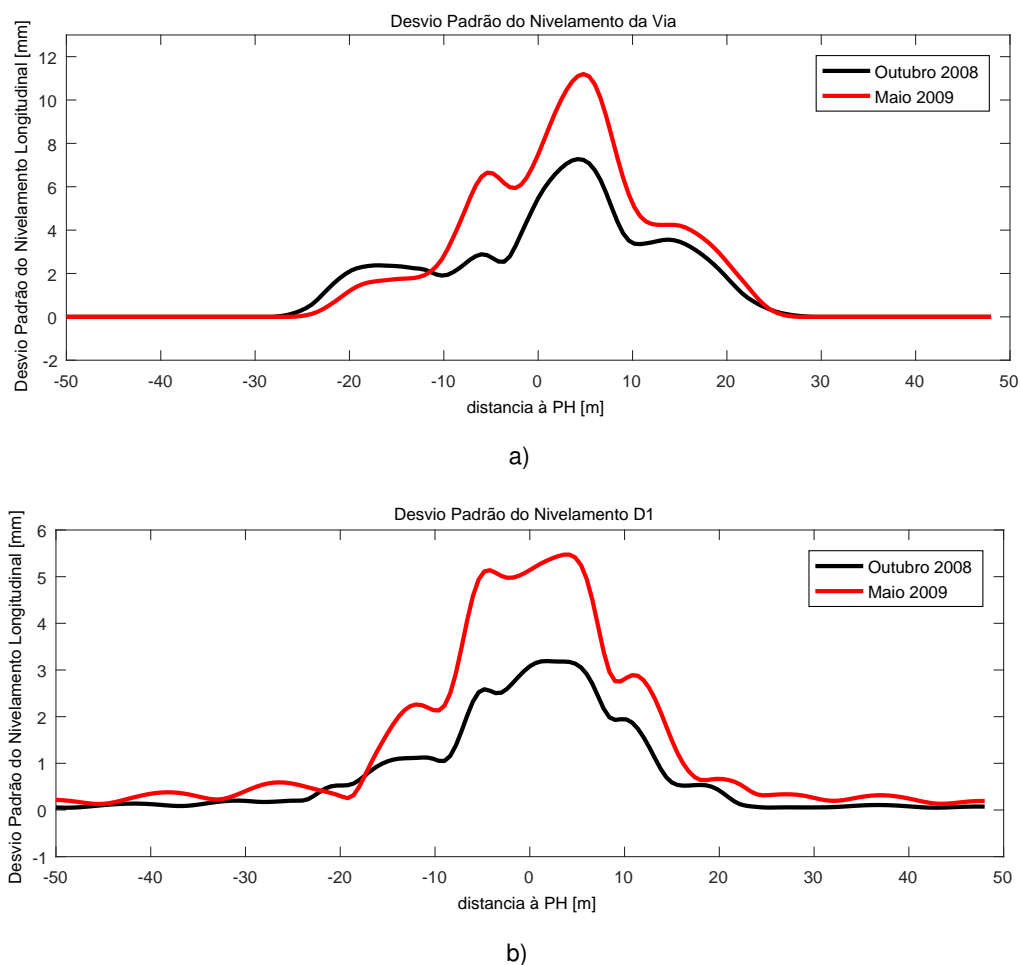


Figura 4.9: Desvio padrão do nivelamento da via em a) e em b) o desvio padrão do respectivo nivelamento D1

O desvio padrão é uma medida de dispersão, que mede a variabilidade dos valores em torno do valor médio. É calculado através da fórmula:

$$std = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

,em que N é o número de amostras, x_i o valor de cada amostra e \bar{x} a média do total de valores.

Neste trabalho, o desvio padrão foi calculado com uma janela móvel de 9 m de comprimento de via. Este valor foi escolhido por entender-se que os defeitos de nivelamento eventualmente gerados pela existência de irregularidades locais na cabeça do carril, como por exemplo soldaduras, não deverá traduzir-se em defeitos com comprimentos de onda superiores a 9 m. Em correspondência, decidiu-se também realizar o cálculo do desvio padrão numa filtragem de nivelamento com

uma gama de comprimentos de onda [1m-9m].

Com isto descreve-se então o procedimento de análise de uma soldadura proposto neste trabalho, estando dividido em 6 passos, descrito de seguida (Figura 4.11):

1ºPasso:

Escolher a soldadura para análise e obter toda a sua informação existente: localização, eventos em redor (soldaduras, JIC's, AMV, etc), nivelamento da soldadura, etc.

2ºPasso:

Obter todas as inspeções disponibilizadas da EM-120 com passagem no local da soldadura. Efetuar filtragem de [1m-3m] sobre a primeira inspeção EM-120 disponível.

3ºPasso:

Identificação da soldadura escolhida no gráfico de nivelamento [1m-3m] da primeira inspeção e por conseguinte ajustar o PK da mesma inspeção com essa identificação.

4º Passo:

Efectuar o ajuste do PK das seguintes inspeções.

De notar que neste caso o ajuste é realizado de forma diferente do passo anterior por forma a realizar esse ajuste com menor erro possível. Cada inspeção foi ajustada com base na anterior usando a gama de comprimentos de onda D1. Este ajuste é realizado tendo por base a sincronização visual entre cada inspeção, tendo como base a primeira inspeção que é ajustada no 3ºPasso.

Na Figura 4.10 é possível observar o resultado do ajuste realizado entre duas inspeções.

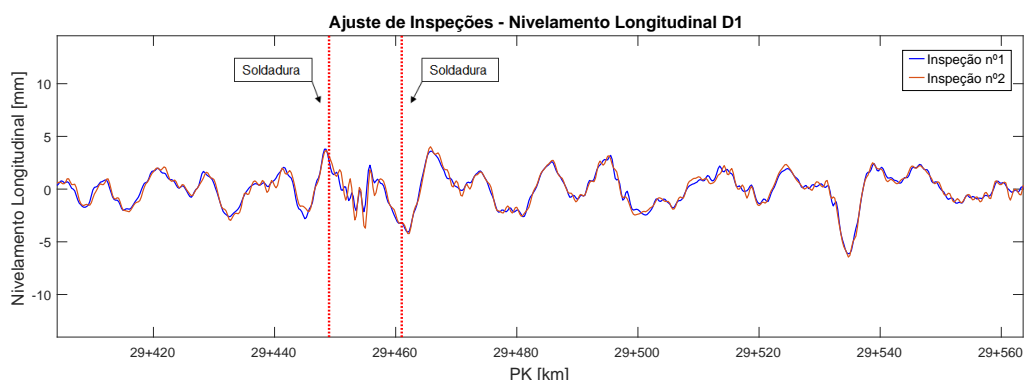


Figura 4.10: Ajuste de duas inspeções seguidas usando resultados de comprimentos de onda D1

5º Passo:

Realizar o cálculo do desvio padrão com janela móvel, sobre os dados de nivelamento com gama de comprimento de onda [1m-9m], em todas as inspeções ajustadas.

6º Passo:

Calcular a variação do desvio padrão considerando toda a janela temporal disponível, excluindo a variação causada por ataques mecânicos pesados (AMP).

Deste modo obtém-se a evolução do desvio padrão desde a primeira inspeção até à última, desprezando evoluções que tiveram a influência de manutenções de AMP, tendo estas alterado o nivelamento de forma não natural.

Os gráficos obtidos como resultados finais para análise vão ser os gráficos que contêm os desvios padrões de todas as inspeções na zona onde está localizada a soldadura em análise. Seguindo-se de um segundo gráfico onde se observa o resultado da evolução temporal.

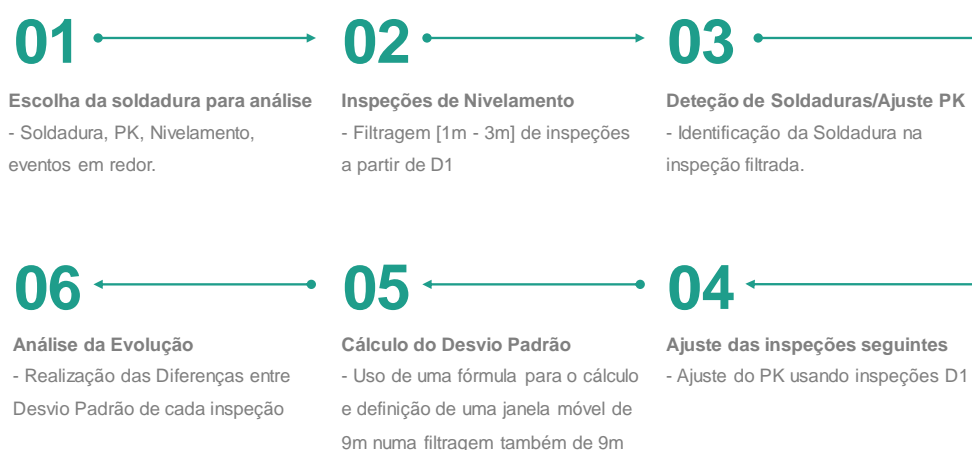


Figura 4.11: Metodologia de análise da evolução do desvio padrão do nivelamento longitudinal de soldaduras

4.4 Análise e Resultados dos casos de estudo

Nesta secção é iniciada a introdução de alguns casos analisados juntamente com os resultados obtidos.

De notar que, durante a seleção de soldaduras para análise, nem todas são possíveis de analisar, pelo que existem casos de soldaduras que ou foram substituídas por outras, dentro deste espaço temporal, ou simplesmente não é possível de as identificar nos gráficos de nivelamento com gama de comprimentos de onda [1m-3m].

Caso nº1

Inicia-se a análise de uma soldadura que foi classificada como conforme aquando a sua inspeção, tendo passado dentro dos limites estipulados em qualquer fator de avaliação. Na Figura 4.12 observa-se a medição da régua SECNET, realizada na primeira inspeção após a execução desta soldadura e também a medição executada na inspeção dedicada a este estudo.

A azul observa-se a medição de 2013, que corresponde à inspeção após a execução, enquanto a vermelho observa-se a medição da inspeção dedicada de 2017. Estas medições estão separadas por cerca de 4 anos, no entanto visualiza-se uma correspondência muito semelhante entre ambas as medições, sendo que a maior diferença é na zona do gráfico onde se situa a soldadura, ou seja, entre 0.45m e 0.55m, tendo a soldadura cerca de 0.025m de comprimento.

Esta zona corresponde à evolução da soldadura neste período, sendo esta evolução a expectável, ou seja é possível visualizar uma clara degradação ao longo do espaço temporal. No entanto não se trata de uma evolução muito significativa, pelo que a soldadura continua com bons valores de nivelamento.

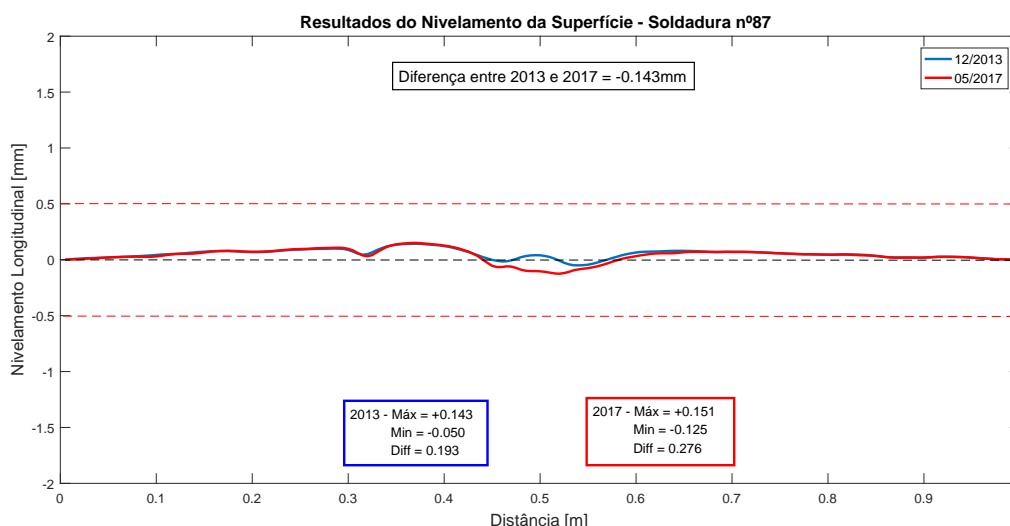


Figura 4.12: Caso nº1 - Comparação entre medições de régua, a azul obtida em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Da Figura 4.12 retira-se a informação de que uma soldadura inicialmente conforme e com nivelamento próximo do nulo, manteve-se praticamente na mesma situação, sem qualquer agravamento significativo, tendo apenas uma pequena evolução quanto ao nivelamento. No entanto há-que ter em conta que se tratou apenas de 4 anos de evolução, o que é pouco dentro da vida útil esperada de uma soldadura.

Relativamente a todas as inspeções desde 2013, foi realizado o cálculo do desvio padrão e respetiva análise.

Na Figura 4.13 observa-se uma amostra de troço na zona da soldadura, pelo

que esta está assinalada com uma linha vertical vermelha. Nas redondezas da soldadura não foram observados quaisquer eventos pelo que não há também essa identificação no gráfico.

Por forma a explicar o contexto deste gráfico, começa-se pela indicação de que as duas primeiras inspeções realizadas, após a execução da soldadura, são a nº1 e nº2, tendo havido um AMP após esta segunda inspeção.

No entanto da nº2 para a nº3 houve um decréscimo. Este decréscimo é explicado através do AMP, que tem influência no nivelamento da via, regularizando tanto quanto possível esse nivelamento, eliminando ao máximo os defeitos de geometria.

Estas observações são possíveis de visualizar não só na zona da soldadura mas também em todo o troço em análise, neste respetivo gráfico.

Na restante análise temporal observa-se que não houve qualquer alteração face ao desvio padrão e que este se manteve praticamente igual ao longo do tempo, pelo que não houve grande influência no nivelamento durante estas inspeções. Conclui-se que, esta soldadura não teve grande influência no nivelamento da via, possivelmente devido ao seu estado inicial de nivelamento ser bastante próximo de zero e pela zona em que está incluída não ser alvo de grandes impactos por outros eventos, que sejam "prejudiciais" para o nivelamento da via.

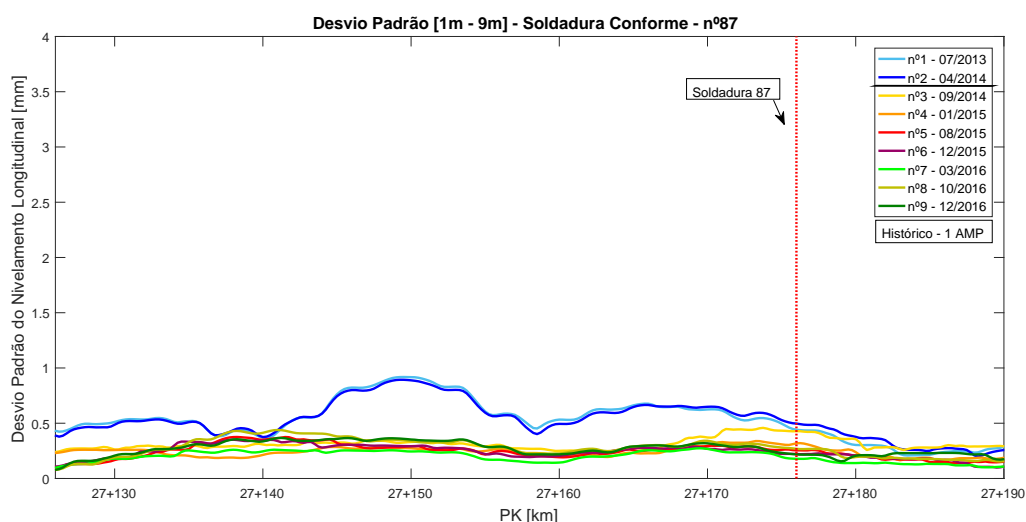


Figura 4.13: Caso nº1 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

Na Figura 4.14 observa-se o resultado da evolução do desvio padrão, que se traduz numa evolução quase nula, confirmando mais uma vez tratar-se de um resultado positivo, face ao tipo de soldadura em questão.

Neste caso pode concluir-se que uma soldadura, inicialmente conforme e com nivelamento bastante próximo de zero, ao estar incluída numa zona sem grandes impactos, traduziu-se numa influência quase nula no nivelamento, pelo que se

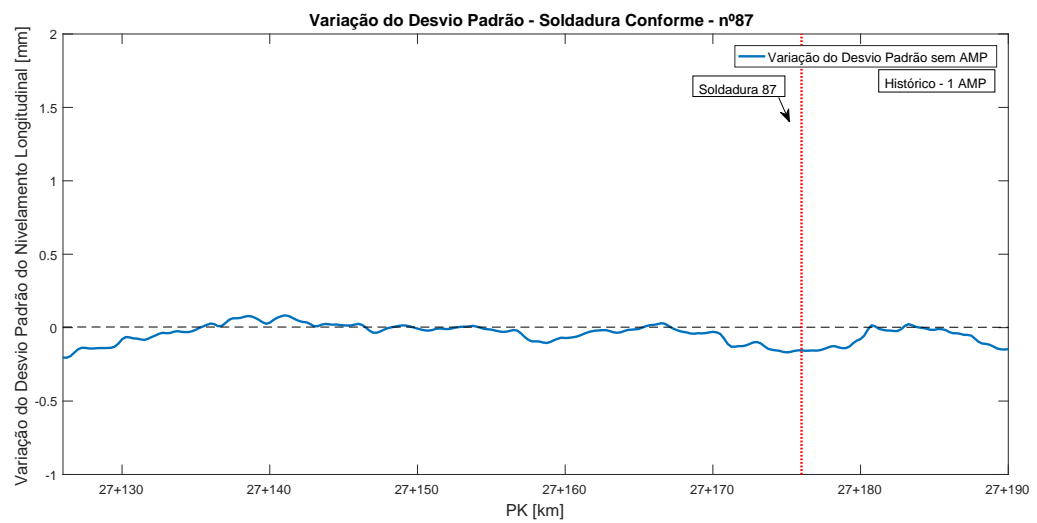


Figura 4.14: Caso nº1 - Gráfico da evolução desvio padrão

observa que a sua evolução ao longo de 4 anos foi reduzida.

Caso nº2

Neste segundo caso é analisada uma soldadura executada em 2013, sendo esta considerada como conforme na inspeção após a execução. Como se observa na Figura 4.15, a azul é ilustrada a medição da régua da inspeção de 2013, à qual esta soldadura passou dentro dos limites de conformidade. No entanto, mesmo após 4 anos, na medição de 2017, a vermelho, observa-se que esta ainda aparenta ter um aspeto semelhante. Embora tenha reduzido o seu nivelamento, esta ainda aparenta estar perto de zero.

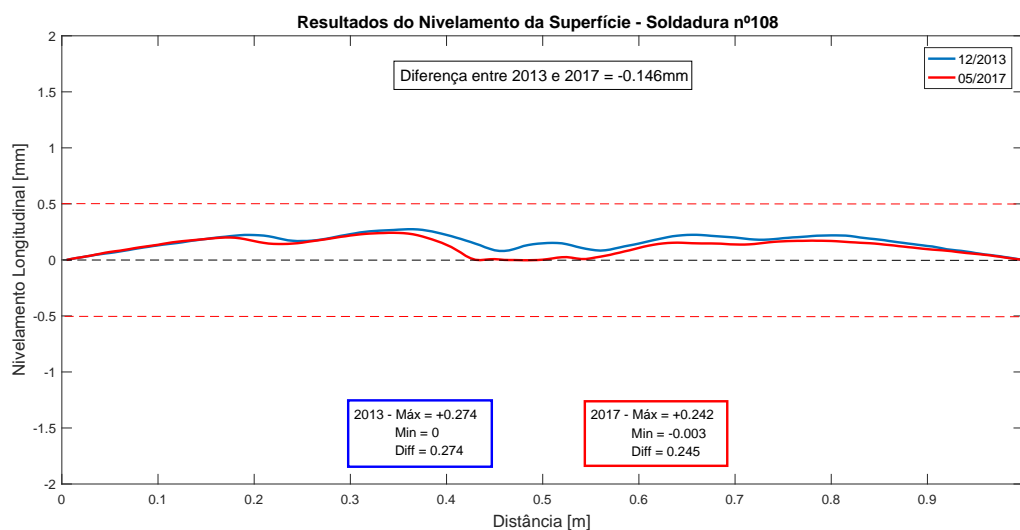


Figura 4.15: Caso nº2 - Comparação entre medições de régua, a azul obtida em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Na Figura 4.16 analisa-se o desvio padrão tal como no caso anterior. Neste caso pode-se verificar que a zona indicada, da soldadura em análise, nada aparenta evidenciar. Comparando a zona da soldadura mais à esquerda, com a zona à esquerda desta, onde não se observa qualquer evento, é possível verificar-se que o comportamento do desvio padrão é igual. Ou seja, o estado em que esta soldadura se apresenta, aparenta ser bastante positivo, o que se deve maioritariamente ao seu nivelamento estar perto dos valores ótimos, segundo a norma.

Este caso é, por outro lado, bastante interessante devido à existência de outra soldadura nas redondezas da soldadura em análise. Neste caso observa-se que esta apresenta uma clara evidência e evolução gradual ao longo do tempo no que toca ao desvio padrão, podendo inclusive comparar-se ambas as soldaduras.

Neste caso consegue-se obter uma melhor visualização da influência dos AMP's no nivelamento. A partir da informação recolhida para este estudo sabe-se que, neste caso, o primeiro AMP ocorre entre a inspeção nº2 e nº3. Ao analisar-se o gráfico, pode-se observar que da nº1 até à nº2 o desvio padrão aumenta, enquanto que observando a nº3, esta diminuiu em comparação com a nº2. O mesmo acontece no segundo AMP, que ocorreu entre a inspeção nº6 e nº7. Tendo

isto em conta, quando se analisa a evolução do desvio padrão, tem que se ter em consideração apenas a evolução das inspeções nº1 até nº2, da nº3 até nº6 e da nº7 até nº9.

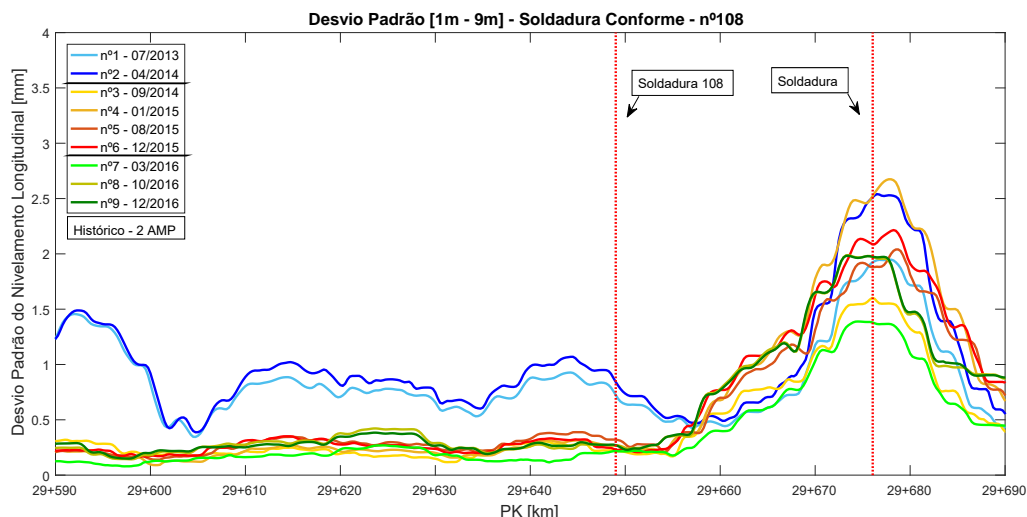


Figura 4.16: Caso nº2 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

De notar que a distância que separa ambas as soldaduras é cerca de 30m e que o desvio padrão é calculado com a janela móvel de 9m, ou seja, não existe influência de uma na outra e isso é visível pelo facto de a soldadura escolhida não mostrar qualquer impacto.

Relativamente à soldadura situada cerca do PK 29+675, constata-se que existe uma aparente relação entre a existência desta soldadura e o desenvolvimento do nivelamento longitudinal, tal como descrito na Figura 4.16. Não havendo dados de régua SECNET desta soldadura, mostra-se na Figura 4.17 o nivelamento da cabeça do carril obtido com o equipamento RMF em 2017.

É possível observar que a diferença entre ambas as soldaduras é bastante significativa, pelo que a soldadura mais à direita se encontra com um nivelamento com quase cerca de -1.5mm. Esta situa-se dentro dos valores de não conformidade sendo este bastante negativo. A soldadura à esquerda apresenta um nivelamento bastante mais baixo, comparativamente à anterior. Com isto conseguiu-se perceber a diferença que cada soldadura tem e também a influência da sua visualização no desvio padrão.

Na Figura 4.18 é possível observar a diferença evolutiva entre as duas soldaduras, pelo que a soldadura em análise pouco evoluiu em questões de desvio padrão, ao contrário da outra soldadura detetada que teve uma evolução crescente em termos de desvio padrão. No entanto, é sabido que esta evolução, refletida no nivelamento geral da via, é negativo, pelo que existe a possibilidade desta zona da via estar bastante afetada pela presença desta soldadura.

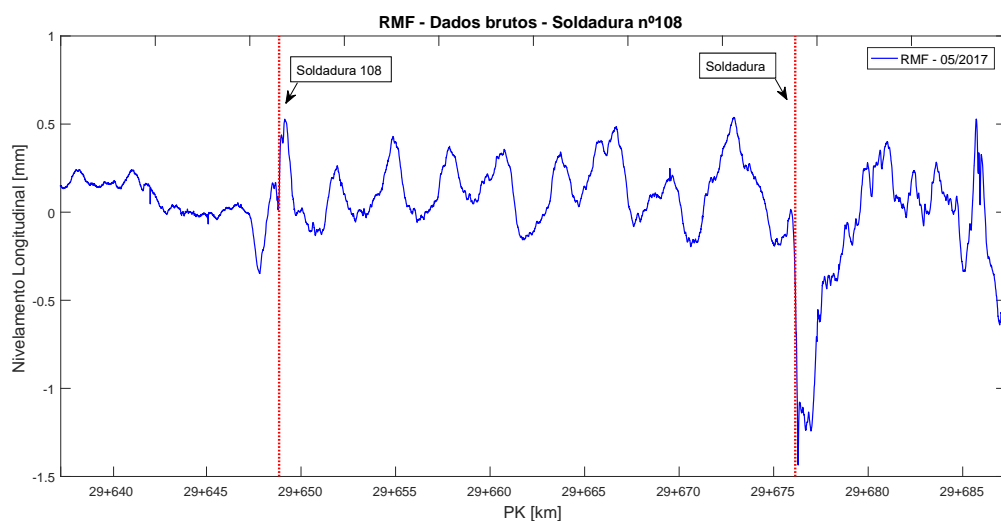


Figura 4.17: Caso n°2 - RMF - Nivelamento da cabeça do carril

Finalizada a análise deste caso, consegue-se concluir que existe uma diferença relativamente ao desvio padrão entre as duas soldaduras comparadas anteriormente. Pode-se observar que uma das soldaduras é mais evidente que a outra. Esta diferença traduz-se face à diferença de nivelamento que cada uma apresenta. Conclui-se que uma soldadura com nivelamento bastante negativo traduz-se numa grande evidência no desvio padrão. Contrariamente, uma soldadura com nivelamento bastante próximo do nulo, nada apresenta no desvio padrão, tal como também já observado no caso n°1.

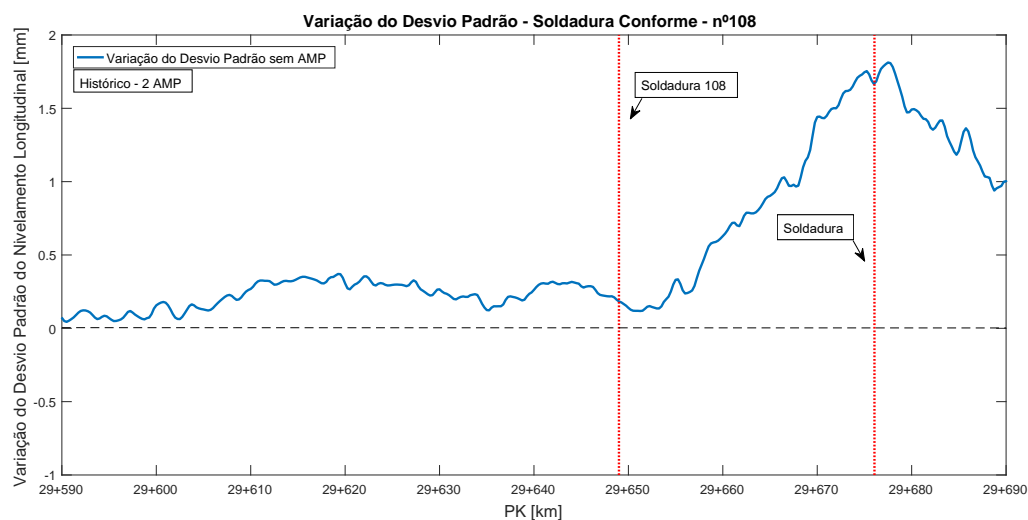


Figura 4.18: Caso n°2 - Gráfico da evolução do desvio padrão

Caso nº3

Analizando mais um caso de estudo, neste caso tratando-se de uma soldadura que foi classificada como não conforme na sua execução, devido ao seu nivelamento ser abaixo de zero, observa-se na Figura 4.19 as medições das régua referentes a esta.

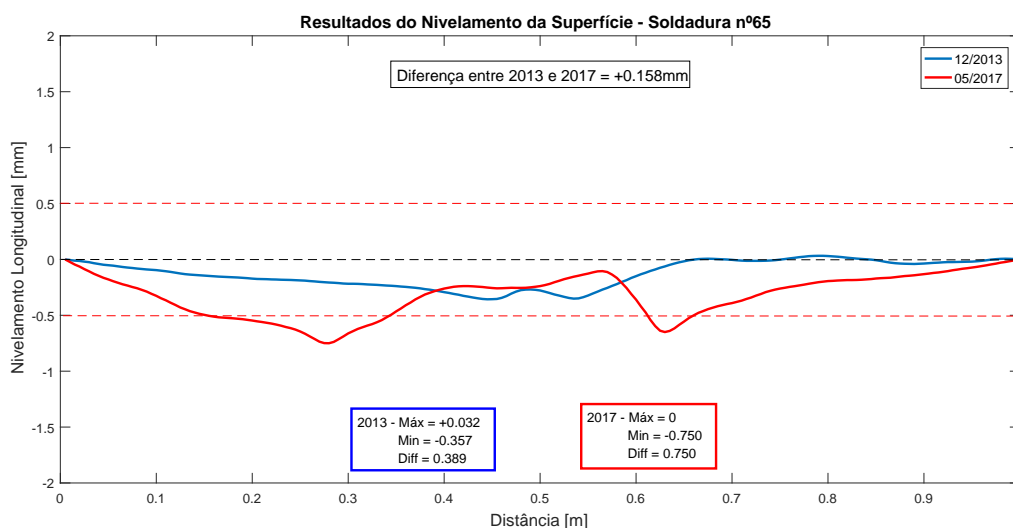


Figura 4.19: Caso nº3 - Comparação entre medições de régua, a azul obtida em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

É possível observar a evolução desta soldadura ao comparar as medições de régua entre 2013 e 2017. Neste caso, a medição da régua SECNET, aparenta ter evoluído para um tipo de configuração incomum. Além disso, na zona da soldadura o nivelamento não demonstra ter diminuído.

Na Figura 4.20 observa-se o desvio padrão desta soldadura e também dos eventos detetados em redor. Este caso de estudo é um exemplo de um troço onde há a existência de muitos eventos. As linhas verticais a vermelho representam as soldaduras detetadas, a amarelo o início de um aparelho de mudança de via (AMV) e a verde um defeito superficial de carril. Nos casos observados anteriormente, sem qualquer observação da existência de eventos além de soldaduras, refletia-se também no desvio padrão em que se mantinha constante ao longo do troço. Neste caso observa-se o contrário face à existência de eventos que influenciam o nivelamento. Como tal, vê-se que o desvio padrão já tem um comportamento menos passivo.

Além de ser visível o impacto que os vários eventos têm no troço, relativamente ao seu nivelamento, também é possível verificar a influência da soldadura escolhida ao observar os seus resultados no desvio padrão.

Relativamente aos AMP's, neste caso ocorreu um entre as inspeções nº2 e nº3, traduzindo-se no único durante esta análise temporal.

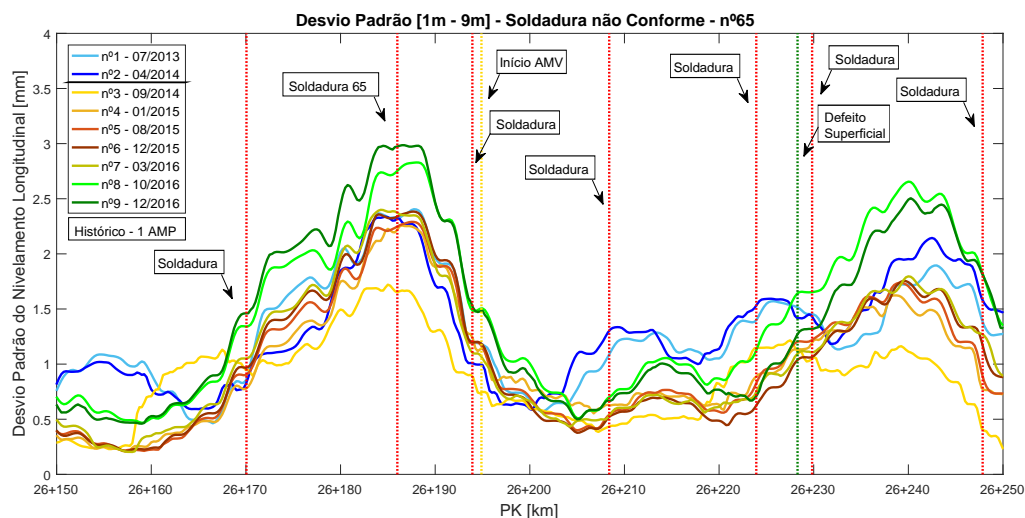


Figura 4.20: Caso nº3 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

Nesta análise pode-se observar que a soldadura se manteve constante ao longo de todas as inspeções. No entanto, a partir da nº8, esta teve um aumento do seu valor no desvio padrão, apresentando uma evolução. No que toca a valores de desvio padrão, esta soldadura apresenta valores altos ao longo de toda a análise temporal.

Na análise da evolução do desvio padrão, sem considerar o AMP existente, pode-se observar a evolução desta soldadura na Figura 4.21. Em comparação com o resto do troço, a zona da soldadura teve uma maior evolução a nível de desvio padrão, obtendo uma evolução superior a 1mm. Esta soldadura serve como exemplo pelo seu comportamento negativo relativamente ao desvio padrão.

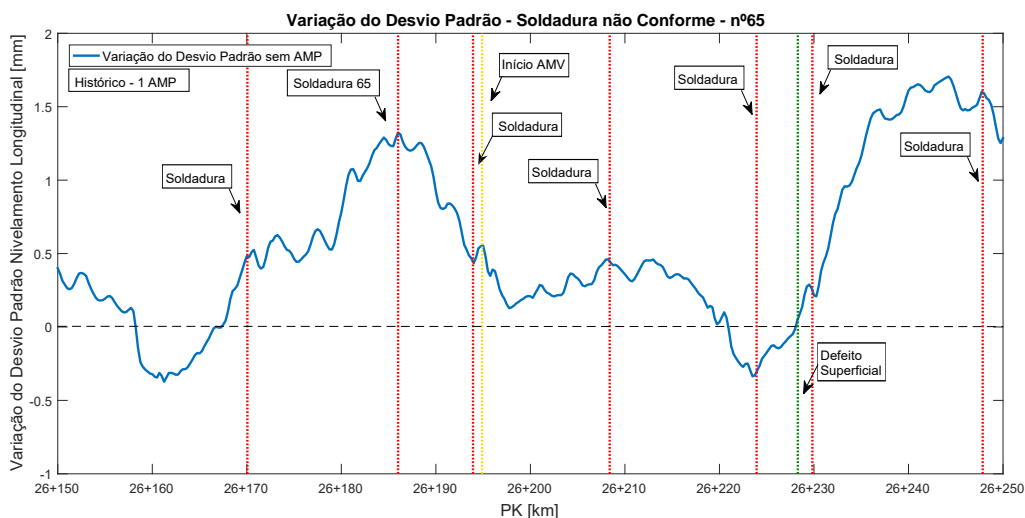


Figura 4.21: Caso nº3 - Gráfico da evolução do desvio padrão

Após a análise desta soldadura conclui-se que uma soldadura com nivelamento negativo alto aparenta demonstrar uma influência maior no que toca ao desvio padrão, tal como se concluiu no caso nº2, na soldadura do PK 29+675. Além disso, esta soldadura nº65 considera-se ser um caso especial por não demonstrar apenas um nivelamento negativo, mas também uma configuração incomum, o que também se verificou ter influência nos resultados.

Nos restantes casos de estudo analisados, cujos respetivos gráficos se encontram em Anexo, é apresentada a seguinte Tabela 4.1, por forma a descrever, no global, as conclusões retiradas dos casos.

Após análise das soldaduras que se encontravam classificadas como conformes na sua execução, obtiveram-se casos com comportamento positivo no espaço temporal de análise. As soldaduras que apresentam este tipo de comportamento, encontram-se apresentadas no caso nº1 e nº2, assim como as soldaduras nº39, nº54, nº71, nº91 e nº107, cujos gráficos de análise se encontram em Anexo.

As restantes soldaduras conformes, nº37, nº70 e nº80, não foram possíveis de se obter qualquer conclusão com a sua análise seja por configuração de desvio padrão incomum analisado ou por a soldadura pertencer a uma JIC. A razão de uma soldadura pertencente a uma JIC se tornar inconclusiva deve-se ao facto de esta ser alvo de ataques ligeiros locais. Estes ataques ligeiros têm o mesmo efeito que os AMP embora sejam de menor grandeza e com efeito mais local.

Tabela 4.1: Resultados Gerais - Soldaduras Analisadas

	Soldadura Conforme	Soldaduras não Conformes por escassez
Comportamento Positivo	7	2
Comportamento Negativo	0	2
Inconclusivas	3	6

Na análise das soldaduras não conformes, conclui-se que a soldadura apresentada no caso nº3 obteve um comportamento negativo, assim como a soldadura nº88, cujos gráficos de análise se apresentam em anexo. Relativamente às soldaduras nº52 e nº90, conclui-se terem um comportamento que apresentou ser positivo. Embora tenham sido consideradas não conformes, estas apresentam um nivelamento negativo bastante próximo de zero.

Relativamente às restantes soldaduras não conformes, nº57, nº58, nº61, nº67, nº75 e nº105, não foi possível retirar uma conclusão por pertencerem a uma JIC ou por apresentarem um desvio padrão incomum.

Todos os gráficos de análise das soldaduras não apresentadas neste capítulo encontram-se em anexo.

Capítulo 5

Considerações Finais

5.1 Principais Conclusões

Neste trabalho é possível observar que o estado da infraestrutura local é determinante para a qualidade da geometria da via e do nivelamento da soldadura ao longo do tempo. Ou seja, a soldadura pode ser influenciada negativamente pelo estado da infraestrutura no momento em que é executada. No caso da soldadura ser executada numa base onde a infraestrutura por baixo desta se encontra bastante degradada e em estado pouco conservado, a evolução que a própria soldadura e a via vão ter, vai-se traduzir numa evolução negativa do nivelamento. É dado como exemplo a execução de uma soldadura nova sobre um local onde anteriormente já existia uma soldadura que ao longo da sua evolução provocou uma degradação da infraestrutura, sendo que a evolução da nova soldadura foi influenciada pela evolução da já existente. Com isto conclui-se que é preciso ter em consideração o estado da infraestrutura na execução de novos troços ou renovação destes, para que esta tenha o mínimo de influência possível.

Neste estudo também foi possível criar uma nova gama de comprimentos de onda para análise, mais propriamente [1m - 3m], que se traduziu num novo conceito. Como tal conseguiu-se uma grande correspondência com alguns fatores reais, nomeadamente para identificação de soldaduras, ou até JIC's.

Com este estudo conseguiu-se também concluir que o nivelamento das soldaduras afeta negativamente o nivelamento D1 da via. No entanto esta afetação vai estar sempre dependente da geometria original da soldadura e também da qualidade da infraestrutura local. Ou seja, uma soldadura que tenha nivelamento acentuado tenderá a ter uma influência negativa no nivelamento, enquanto que uma soldadura que tenha nivelamento aproximado de zero terá pouca influência no nivelamento da via. Ficará para desenvolvimentos futuros a questão de tentar quantificar o quanto cada soldadura afeta o nivelamento da via.

Devido a este estudo se tratar de uma primeira investigação sobre o tema

em questão e devido às conclusões que se obteve neste estudo dependerem principalmente do número de amostras, não é possível garantir, neste momento, uma conclusão que quantifique a influência de cada soldadura no nivelamento da via.

5.2 Desenvolvimentos Futuros

No que toca a desenvolvimentos futuros, face aos resultados obtidos, é de grande importância continuar este estudo, prolongando não só a análise da atual amostra para os anos futuros, mas também alargar a amostra a mais casos de estudo por forma a poder retirar conclusões com cada estado de soldadura vs degradação do nivelamento da via.

Seria também pertinente incluir nesta análise o grupo das soldaduras não conformes por excesso, assim como incluir a avaliação ao longo do tempo dos defeitos internos por ultrassons e influência da temperatura no nivelamento das soldaduras.

É sugerido também estudar critérios complementares de receção de soldaduras face ao usado hoje em dia, conhecido por régua SECNET, pois este critério pode fugir do aspeto real devido aos apoios que tem nas pontas serem a base do cálculo da régua e estes serem zerados no gráfico, como foi possível observar nos casos de estudo. Além disso, também há que ter em conta o facto de não ser só o valor do nivelamento da soldadura que pode ter influência negativa no nivelamento da via, mas também o andamento e configuração/aspeto que o carril/soldadura tem na extensão de 1m.

Bibliografia

EN 14730-2:2006. Railway applications. Track. Aluminothermic welding of rails. Part 2. Qualification of aluminothermic welders, approval of contractors and acceptance of welds. EN14730, European Committee for Standardization (CEN), 2006.

European Standard. EN 13848-5: Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 5: Geometric quality levels - Plain line. EN13848, European Committee for Standardization (CEN), 2008.

European Standard. EN 13231-3: Railway applications - Track - Acceptance of works - Part 3: Acceptance of reprofiling rails in track. EN13231, European Committee for Standardization (CEN), 2010.

Fernandes, João António da Silva. Modelação do Comportamento Mecânico de Vias-férreas. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.

Fontul, Simona e Neves, Graça. Apointamentos de Infraestruturas ferroviárias e portuárias. Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2015.

Fortunato, Eduardo Manuel Cabrita. Renovação de Plataformas Ferroviárias: estudos Relativos à Capacidade de Carga. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.

Francisco, André da Costa. Modelação numérica de vias-férreas com palmilhas de travessa. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2016.

Interempresas. <http://www.interempresas.net/Ferrocarril/Articulos/153305-Soldadura-aluminotermica-de-carriles-ferroviarios.html>, Consultado em 5 de Agosto de 2017.

IP, S.A. <http://www.refer.pt/centro-de-imprensa/melhoria-das-condicoes-de-circulacao-e-seguranca-na-linha-do-alentejo>, Consultado em 5 de Agosto de 2017.

IP, S.A. Norma Técnica de via, NT 2b - Fiscalização de Soldaduras de Carris por processo aluminotérmico. Infraestruturas de Portugal, 1969.

IP, S.A. VIV02 (EM 120) - Veículo de inspecção de via. Descrição dos sistemas de medição. Infraestruturas de Portugal. 2001.

- IP, S.A. IT.VIA.018 - Tolerâncias dos parâmetros geométricos da via. Infraestruturas de Portugal, 2009.
- IP, S.A. Relatório de Receção de Trabalhos de Soldadura Aluminotérmica. Infraestruturas de Portugal, 2014.
- IP, S.A. GR.PR.VIA.006 - Emissão de Certificado para a Receção de Trabalhos Soldadura Aluminotérmica. Infraestruturas de Portugal, 2015.
- Lopes, André Martins. Avaliação da degradação de vias férreas: Caracterização do balastro com recurso ao Radar de Prospeção. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2013.
- Mechanical Engineering blog. <http://www.mechanicalengineeringblog.com/3711-thermit-welding-rail-aluminothermic-welding-thermite-welding-procedure/>, Consultado em 5 de Agosto de 2017.
- Miguel, Filipa Alexandra Soares Botelho. Inspeção de Infraestruturas Ferroviárias: Avaliação não destrutiva com o Radar de Prospeção. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2015.
- Neves, Marco dos Santos. Comportamento Dinâmico de Pontes Ferroviárias de Alta Velocidade : Efeito da Via Balastrada. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2010.
- Oliveira, Ana Filipa Firmino Paulino de. Via Balastrada versus Via Não Balastrada. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.
- Paixão, André e Fortunato, Eduardo. Novas Soluções de Superestrutura de Via para a Alta Velocidade Ferroviária - Relatório Científico - Transportes ITC XX. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2009.
- Pereira, David Manuel Gonçalves. Métodos de Auscultação Não Destrutivos Aplicados na Avaliação da Capacidade de Carga de Infraestruturas Ferroviárias. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014.
- Plasser and Theurer. <https://www.plassertheurer.com/en/machines-systems/mobile-rail-rectification-apt-1500-ra.html>, Consultado em 5 de Agosto de 2017.
- Porsol. Manual do Soldador: Porsol - Processo de Soldadura Aluminotérmica por: PLC - Pré-aquecimento Limitado. Infraestruturas de Portugal, 2002.
- Prosutec. SEC-RC, Regla de comprobación de soldaduras, 2013.
- Railtech UK Limited. Process Manual One-Shot Crucible Processes, 2013.
- Rodrigues, Daniela Dias. Manutenção e conservação de vias férreas: análise de casos práticos. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2012.
- Simão, João José da Luz. Modelação e resposta dinâmica de vias ferroviárias balastradas Comportamento a longo prazo. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014.

- Taringa. <http://www.taringa.net/posts/info/17763461/Via-y-obras-Soldadura-de-rieles.html>, Consultado em 5 de Agosto de 2017.
- Tzanakakis, Konstantinos. The Railway Track and Its Long Term Behaviour - A Handbook for a Railway Track of High Quality. Polytechnic Institute of New York University, 2013.
- Vale, Cecília Maria Nogueira Alvarenga Santos do. Influência da qualidade dos sistemas ferroviários no comportamento dinâmico e no planeamento da manutenção preventiva de vias de alta velocidade. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- Varandas, José Nuno. Long-Term Behaviour of Railway Transitions Under Dynamic Loading. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2013.
- Vossloh. https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/product-finder/product_10944.html, Consultado em 15 de Abril de 2017.

Apêndice A

Casos de estudo - Apresentação de Resultados

A.1 Introdução

O presente anexo pretende disponibilizar os resultados das soldaduras apresentadas e discutidas no Capítulo 5.

A.1.1 Soldaduras Conformes

Soldadura nº37

A soldadura nº37 registou valores positivos de nivelamento, no que toca à sua medição com a régua SECNET. Estes valores são visíveis tanto em 2013 como em 2017 podendo observar-se na Figura A.1.

Legenda de eventos das Figuras A.2 e A.3:

- Soldaduras (Vermelho)
- Defeito superficial (Verde)
- AMP's (entre nº1/nº2 e nº6/nº7)

No entanto, na análise do desvio padrão, esta soldadura apresenta-se com uma configuração incomum, colocando a hipótese de os valores apresentados na Figura A.2 poderem corresponder a fatores externos relacionados com o estado da infraestrutura ou outros dos quais não tenhamos informação. Devido a estes valores não representarem um resultado expectável de uma soldadura e não haver informação que o justifique, considerou-se esta soldadura como um caso inconclusivo.

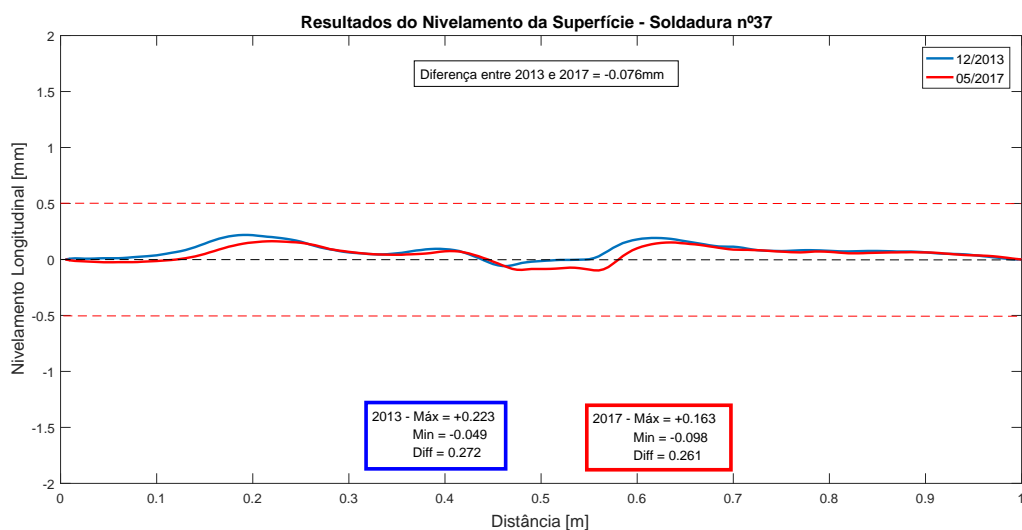


Figura A.1: Soldadura nº37 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

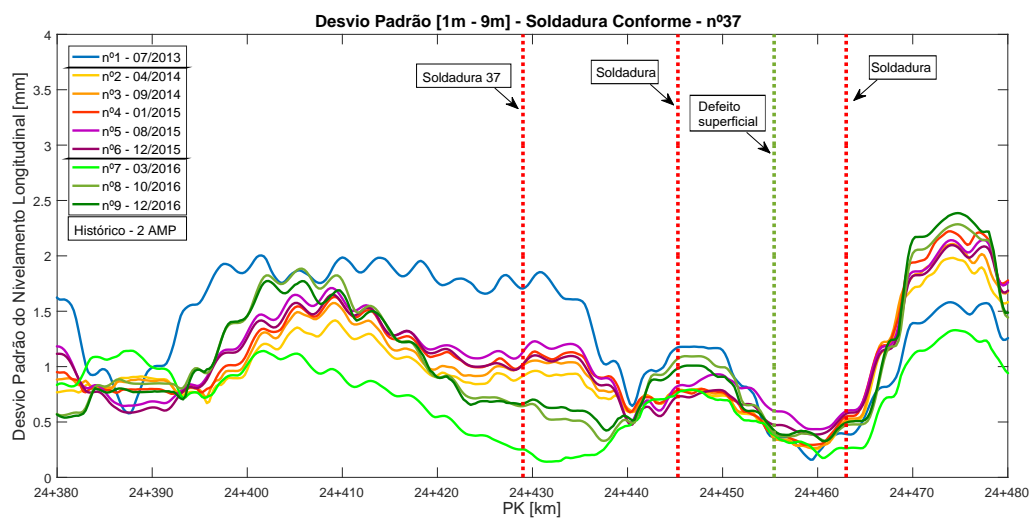


Figura A.2: Soldadura nº37 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

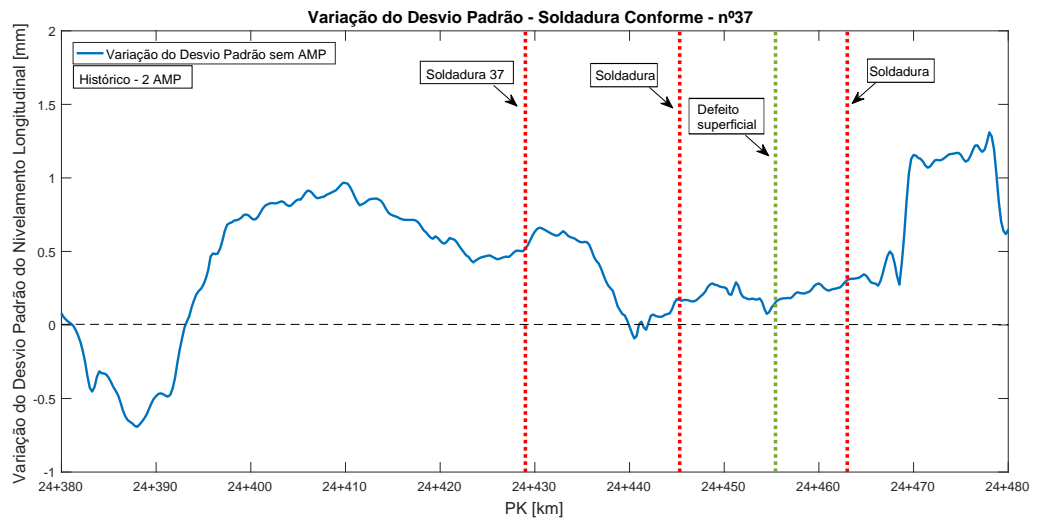


Figura A.3: Soldadura nº37 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº39

Na análise da soldadura nº39, não é possível apresentar a medição da régua SECNET, obtida em 2017, devido a esta ter sido obtida com erro. Sendo assim, na Figura A.4 é apenas apresentada a medição de 2013.

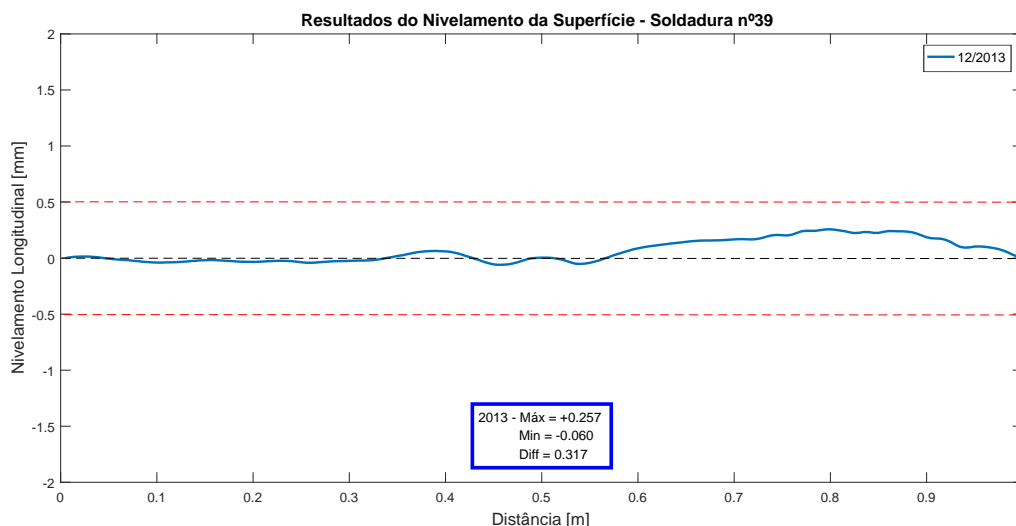


Figura A.4: Soldadura nº39 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.5 e A.6:

- Soldaduras (Vermelho)
- AMP's (entre nº1/nº2 e nº6/nº7)

Observa-se nas Figuras A.5 e A.6 que esta soldadura apresenta conclusões de análise iguais à do caso nº2, ou seja, apresenta-se com um comportamento positivo e permite a possibilidade de ser comparada com as restantes soldaduras presentes nos gráficos.

Devido à inexistência do valor da medição da régua em 2017, na Figura A.7 é possível observar-se o nivelamento obtido na cabeça do carril, com o dispositivo de medição RMF. Com esta medição é possível visualizar que a soldadura em análise apresenta-se com valores de nivelamento aproximadamente entre 0mm e -0.5mm, estando o seu valor mais próximo de 0mm. Com isto pode-se concluir que mesmo em 2017 esta se apresenta com valores de nivelamento positivos, sendo que este corrobora os valores obtidos do desvio padrão, respetivos a esta soldadura.

Na Figura A.7 também é possível obter os valores de nivelamento na cabeça do carril das restantes soldaduras e comparar os seus valores de desvio padrão na Figura A.5.

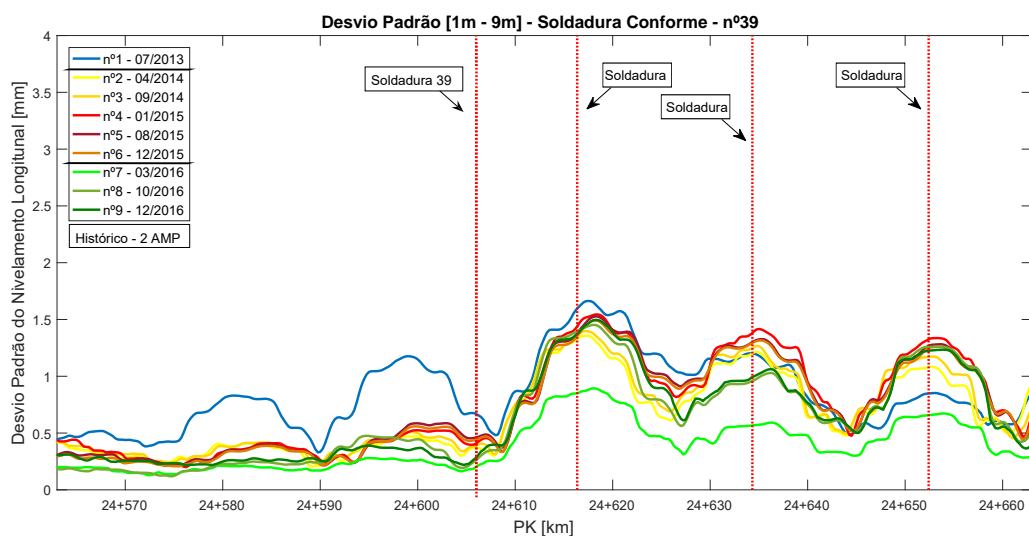


Figura A.5: Soldadura nº39 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

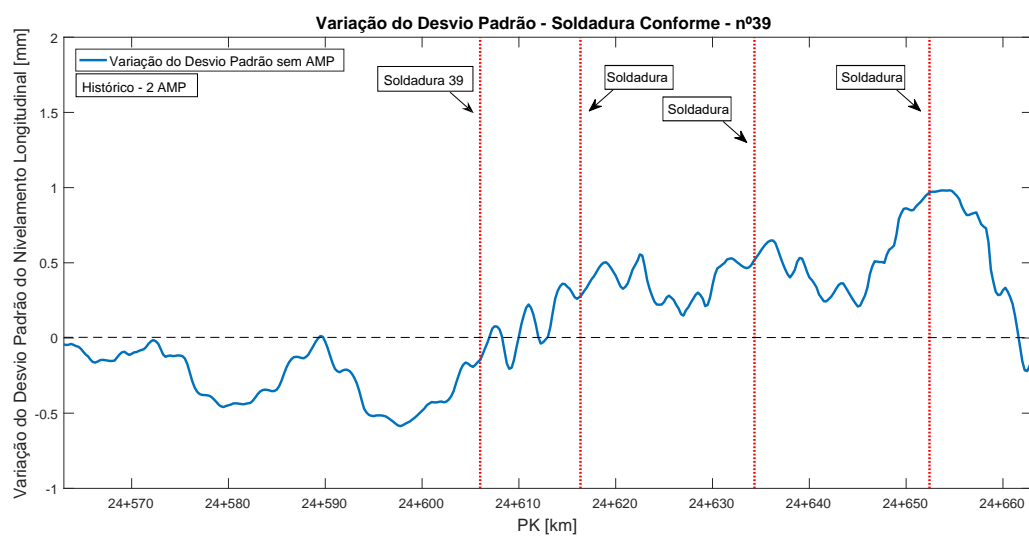


Figura A.6: Soldadura nº39 - Gráfico da evolução desvio padrão

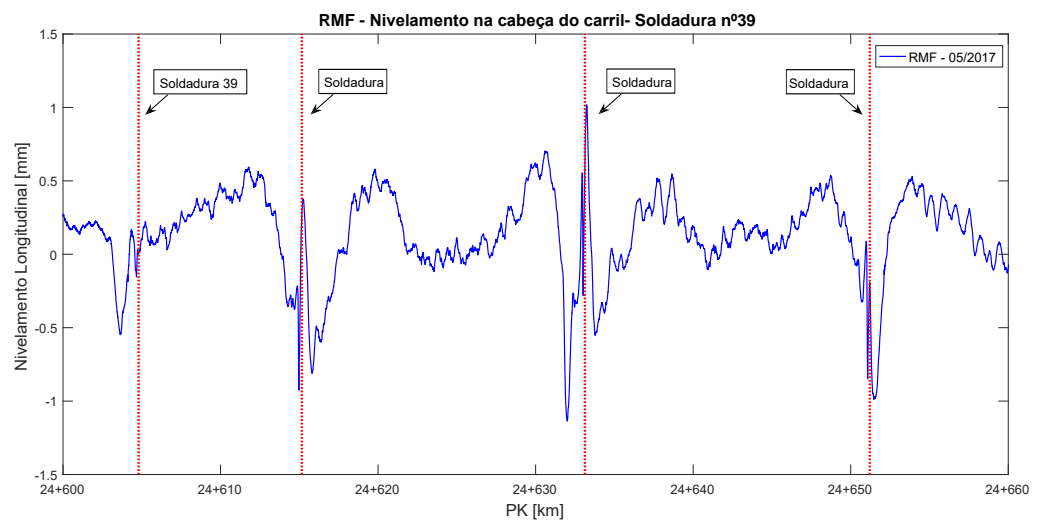


Figura A.7: Soldadura nº39 - RMF - Nivelamento da cabeça do carril

Soldadura nº54

Esta soldadura é mais um dos casos de estudo que apresenta um comportamento positivo, tendo as mesmas conclusões e análises que os casos nº1 e nº2, pelo que não será feita uma análise muito extensa.

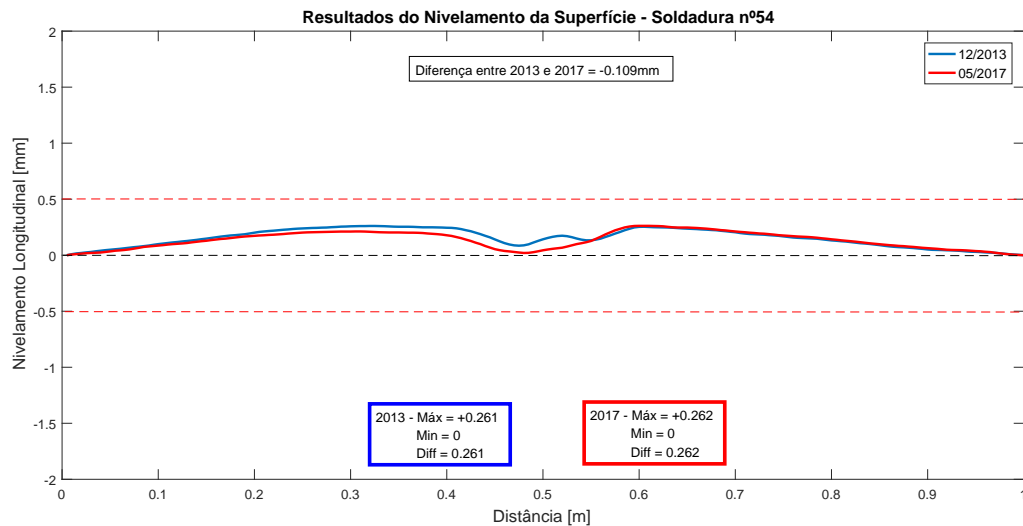


Figura A.8: Soldadura nº54 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.9 e A.10:

- Soldaduras (Vermelho)
- JIC (Azul)
- AMP (entre nº2/nº3)

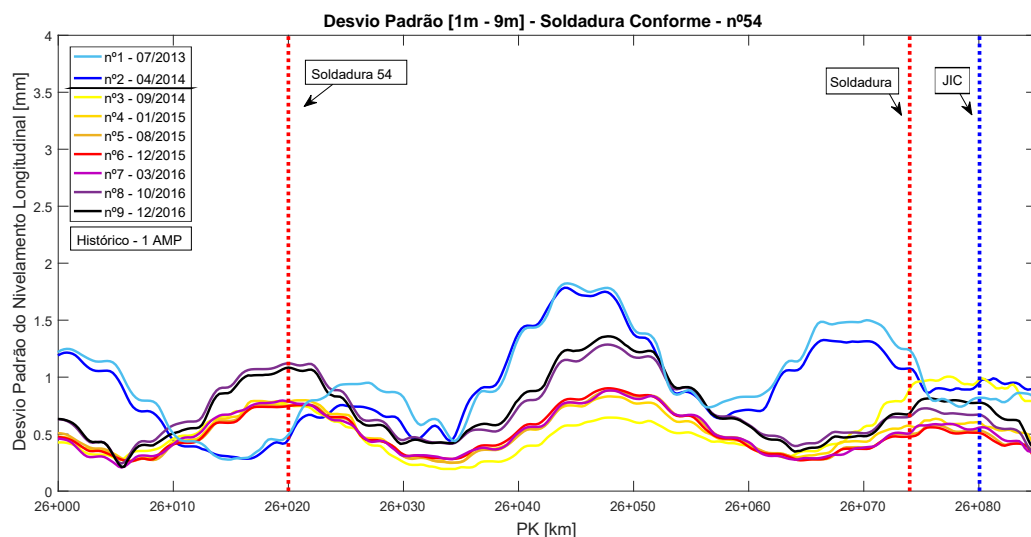


Figura A.9: Soldadura nº54 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

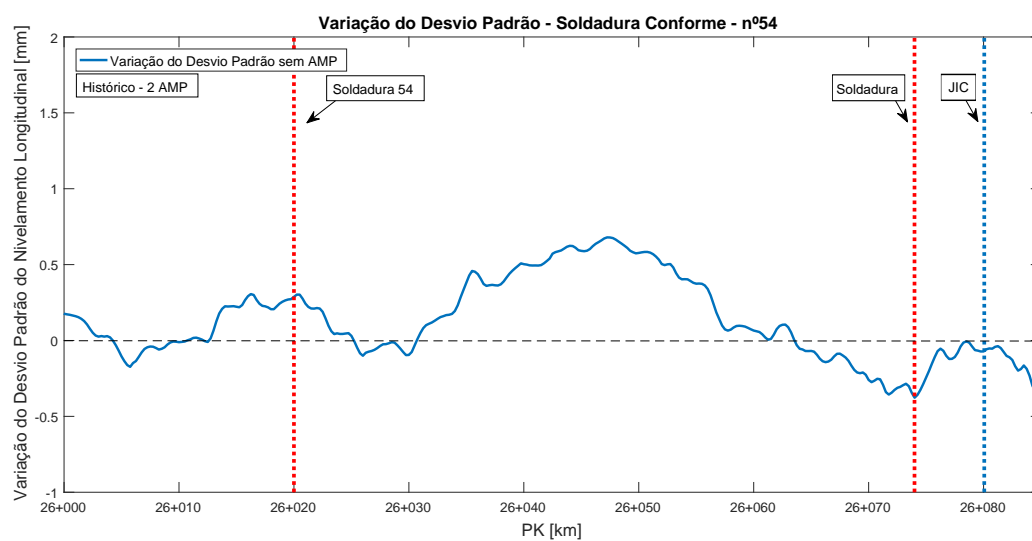


Figura A.10: Soldadura nº54 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº70

Na Figura A.11 é possível verificar a diferença entre a medição de régua de 2013 e 2017 desta soldadura, pelo que aparenta ter tido uma evolução bastante negativa.

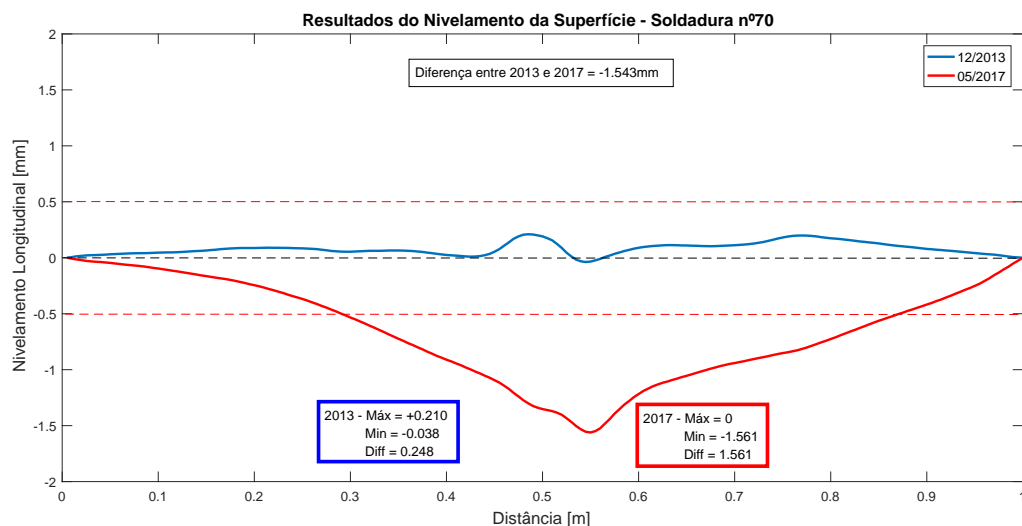


Figura A.11: Soldadura nº70 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Apesar dos valores obtidos pela régua SECNET tenderem para negativo, quando se analisa o seu desvio padrão na Figura A.12 torna-se difícil de retirar alguma conclusão acerca da sua influência na via. Como tal, considerou-se que houve resultados inconclusivos, devido ao seu desvio padrão ter um comportamento incomum e aparentar ter influências externas, seja por problemas de infraestrutura local ou por esta soldadura pertencer a uma JIC.

Legenda de eventos das Figuras A.12 e A.13:

- Soldaduras (Vermelho)
- JIC (Azul)
- AMP's (entre nº2/nº3 e nº6/nº7)

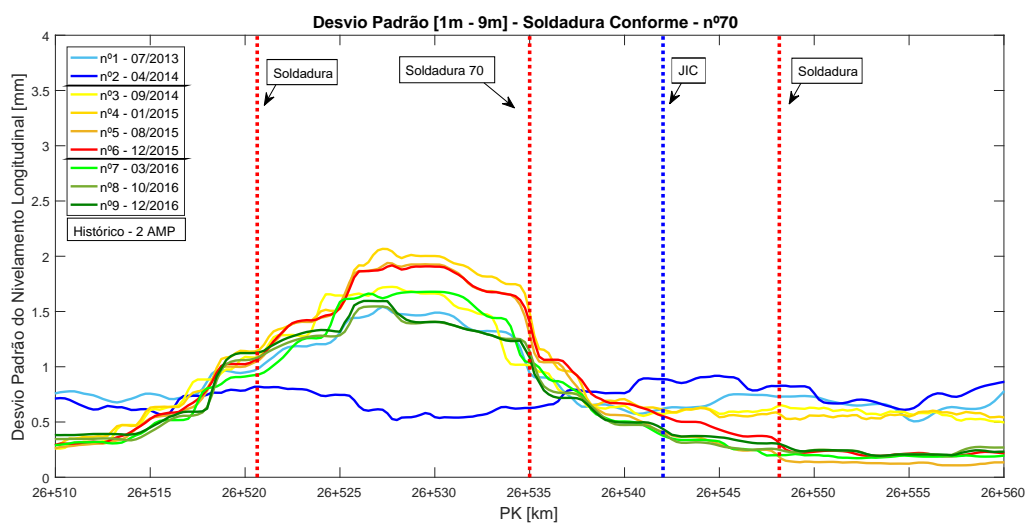


Figura A.12: Soldadura nº70 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

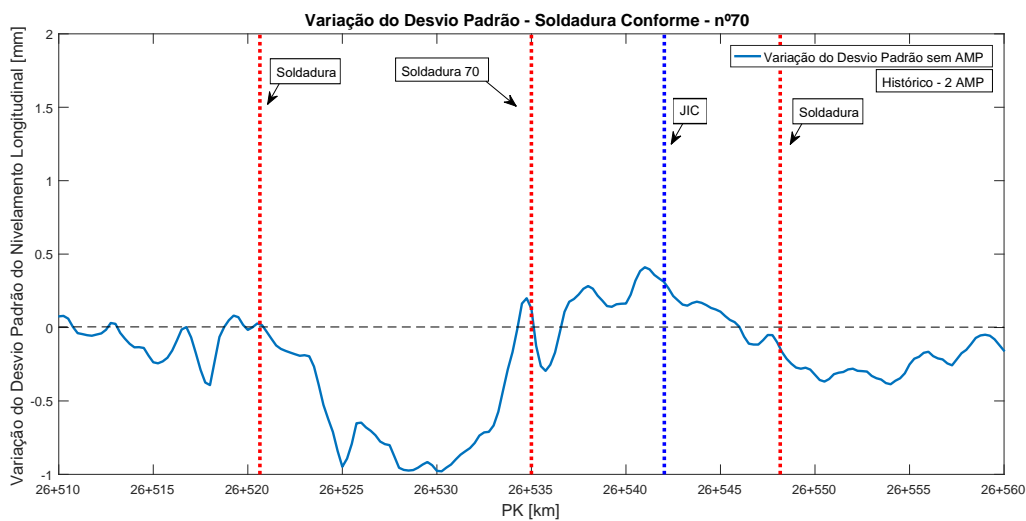


Figura A.13: Soldadura nº70 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº71

A soldadura nº71 trata-se de mais um caso com análise semelhante aos casos nº1 e nº2, apresentados no Capítulo 5, tendo sido considerada conforme com um comportamento positivo.

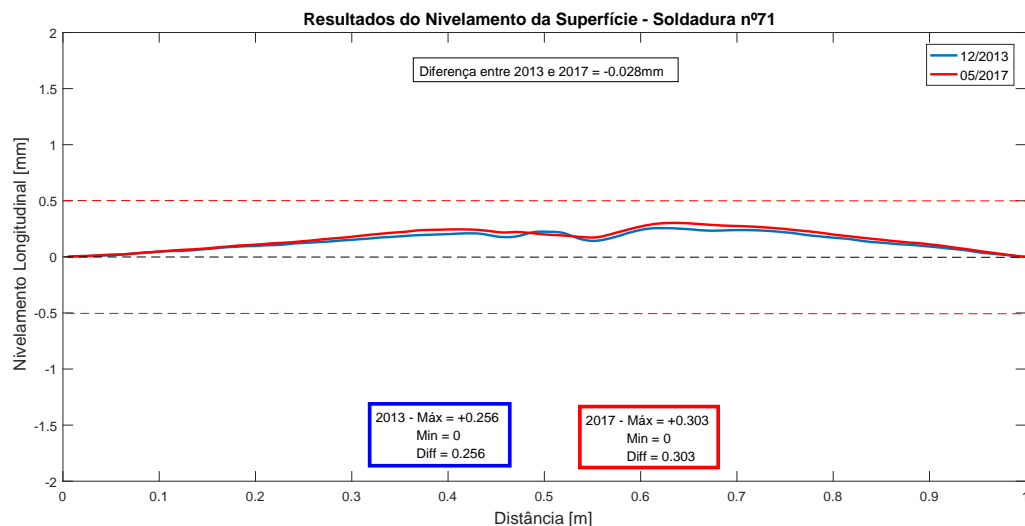


Figura A.14: Soldadura nº71 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.15 e A.16:

- Soldaduras (Vermelho)
- JIC (Azul)
- AMP's (entre nº2/nº3 e nº6/nº7)

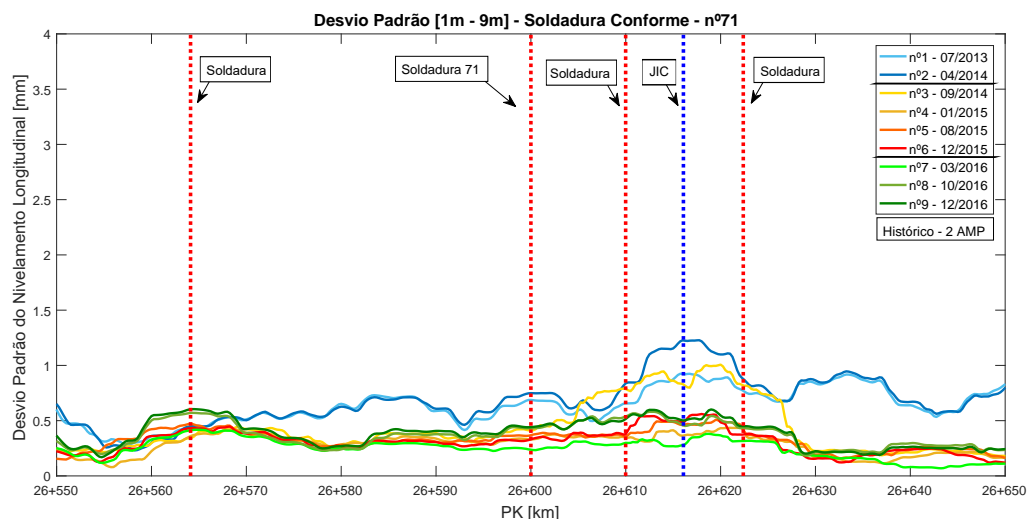


Figura A.15: Soldadura nº71 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

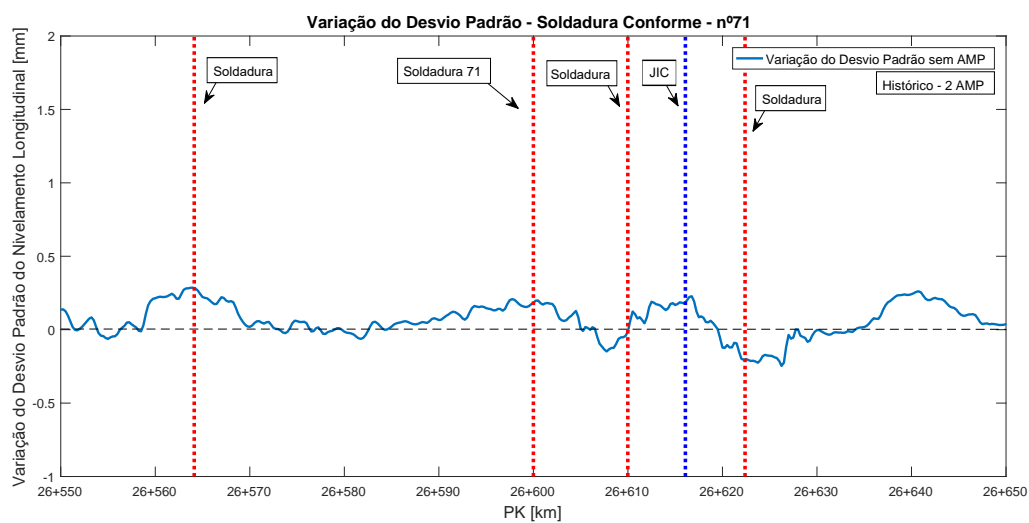


Figura A.16: Soldadura nº71 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº80

Esta soldadura foi classificada como conforme aquando a sua execução, no entanto, após ser efetuada a sua análise não foi possível retirar conclusões acerca do seu comportamento.

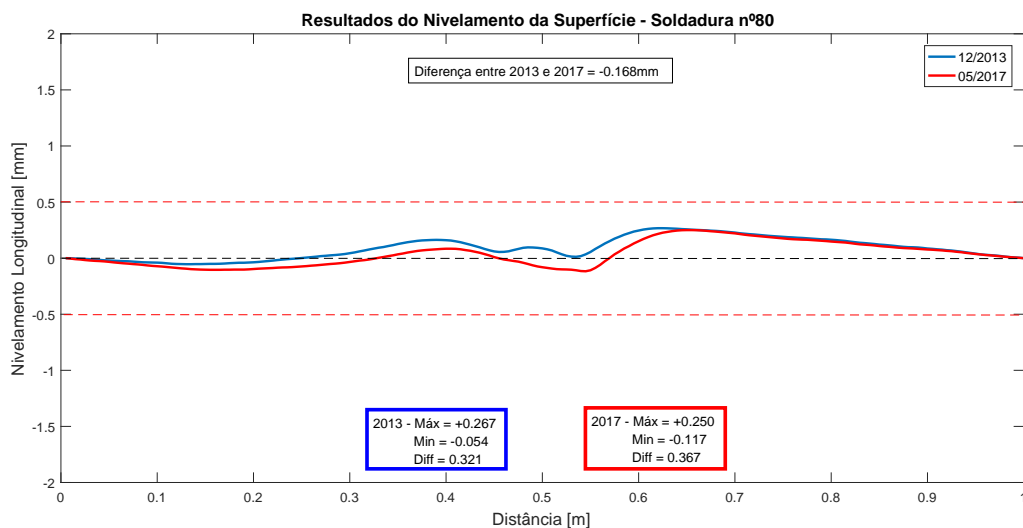


Figura A.17: Soldadura nº80 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.18 e A.19:

- Soldaduras (Vermelho)
- JIC (Azul)
- AMP's (entre nº2/nº3 e nº6/nº7)

Tal como os restantes casos inconclusivos, esta também apresenta valores de desvio padrão incomuns, podendo estar em hipótese algum problema relacionado com a infraestrutura, ou mesmo devido a ser uma soldadura pertencente a uma JIC.

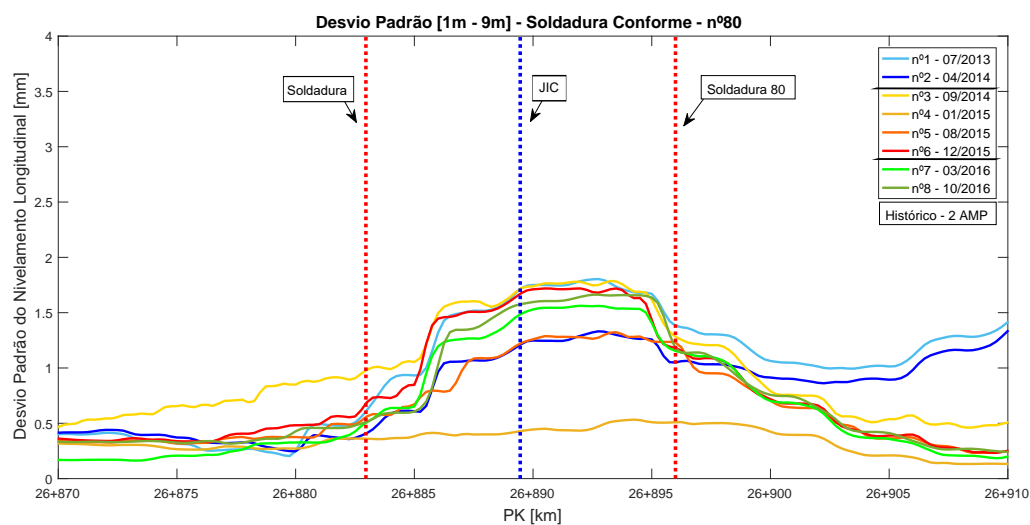


Figura A.18: Soldadura nº80 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

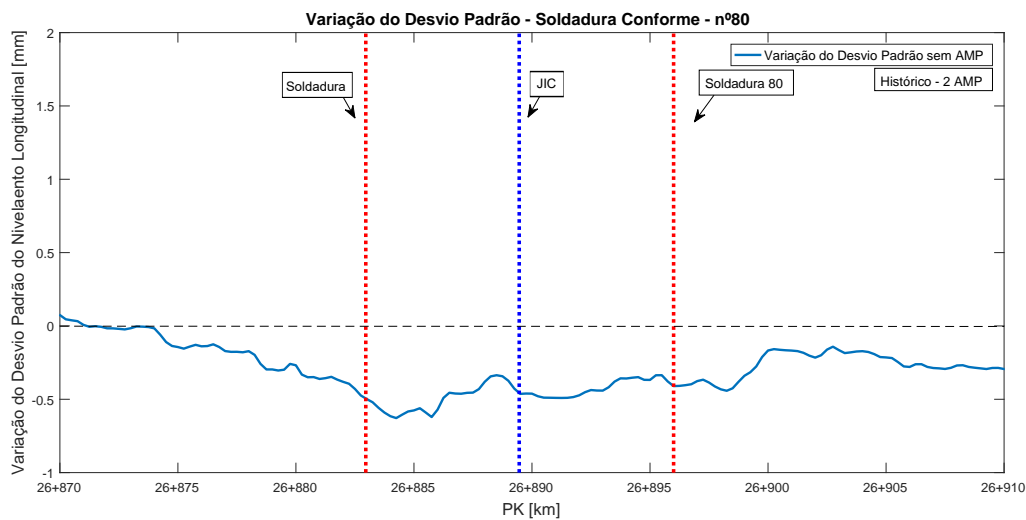


Figura A.19: Soldadura nº80 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº91

A soldadura nº91 trata-se de mais um caso com análise semelhante aos casos nº1 e nº2, apresentados no Capítulo 5, tendo sido considerada conforme com um comportamento positivo.

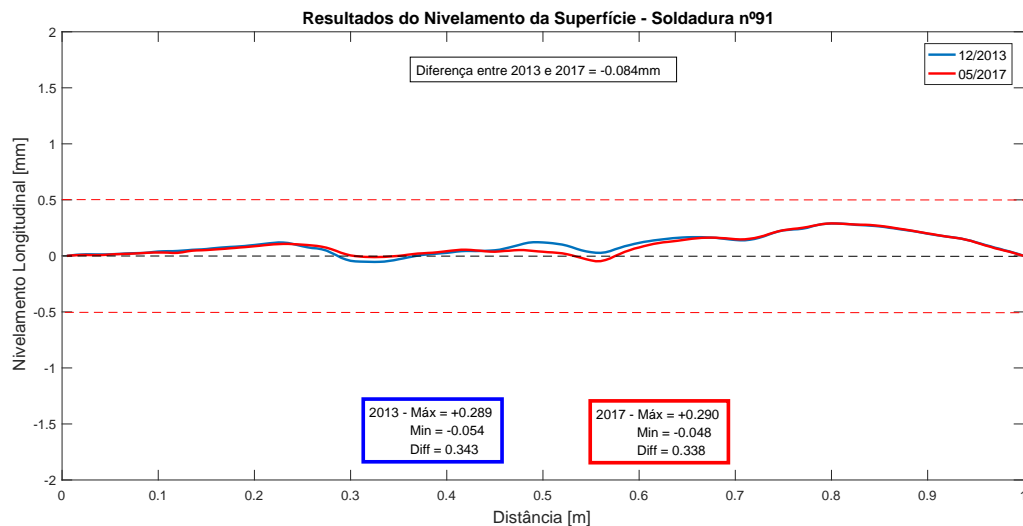


Figura A.20: Soldadura nº91 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.21 e A.22:

- Soldaduras (Vermelho)
- AMP's (entre nº1/nº2 e nº4/nº5)

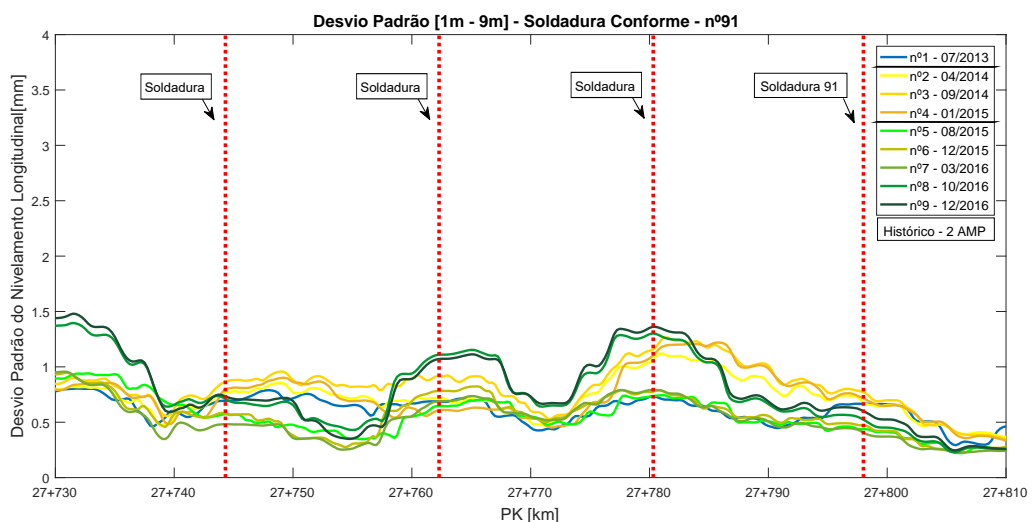


Figura A.21: Soldadura nº91 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

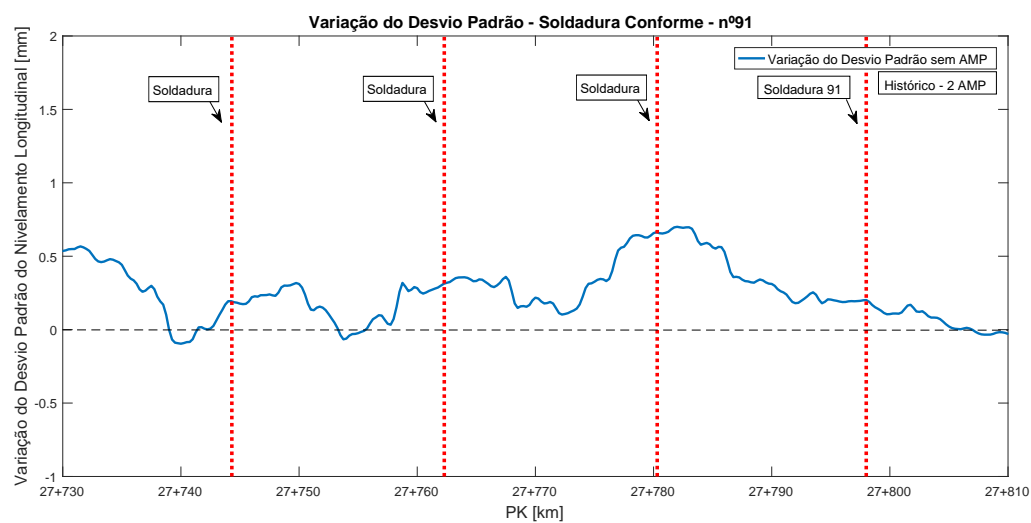


Figura A.22: Soldadura nº91 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº107

A soldadura nº107 trata-se de mais um caso com análise semelhante aos casos nº1 e nº2, apresentados no Capítulo 5, tendo sido considerada conforme com um comportamento positivo.

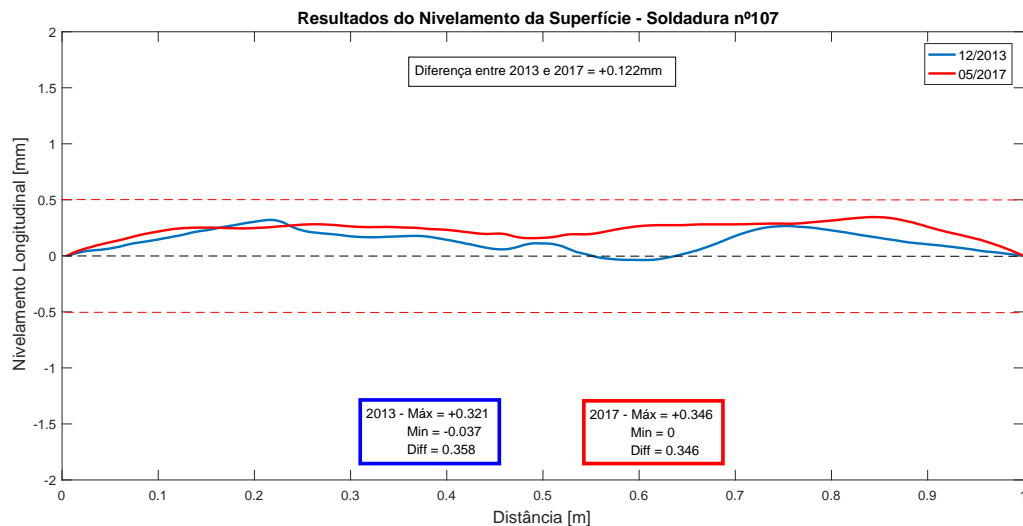


Figura A.23: Soldadura nº107 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.24 e A.25:

- Soldaduras (Vermelho)
- AMP's (entre nº2/nº3 e nº6/nº7)

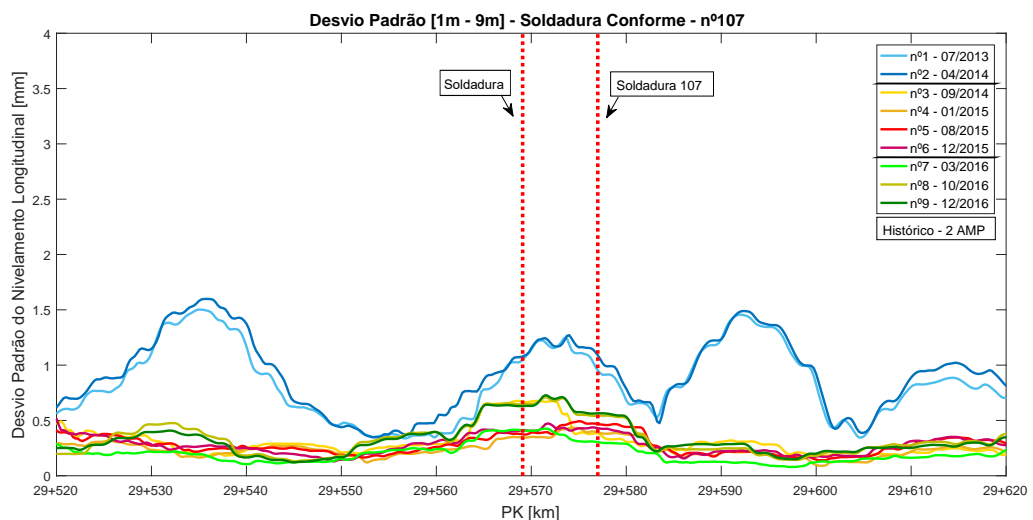


Figura A.24: Soldadura nº107 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

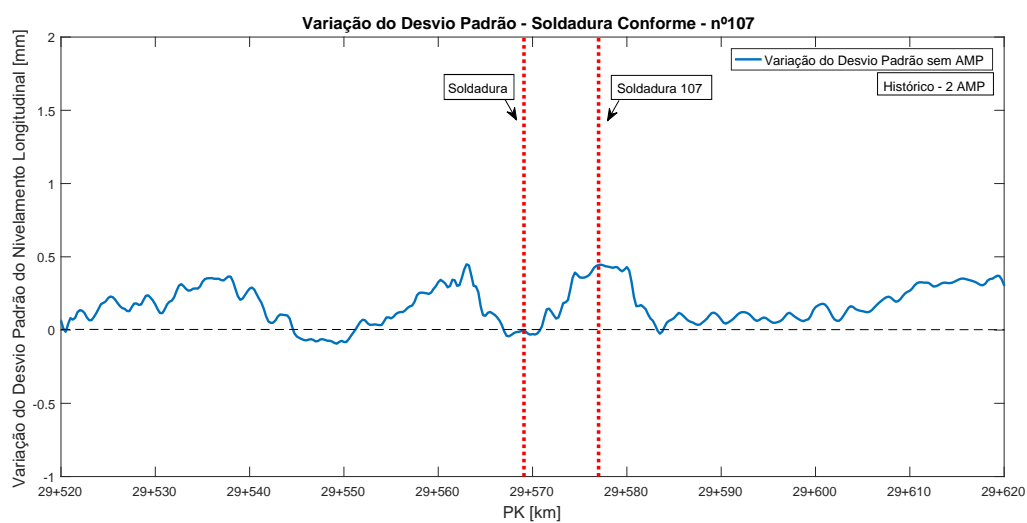


Figura A.25: Soldadura nº107 - Gráfico da evolução desvio padrão

A.1.2 Soldaduras não Conformes

Soldadura nº52

A soldadura nº52 trata-se de mais um caso com análise semelhante aos casos nº1 e nº2, apresentados no Capítulo 5. No entanto, apesar de ter sido classificada como não conforme, o seu nivelamento mostra-se com um valor bastante baixo e na sua análise temporal apresenta um comportamento positivo.

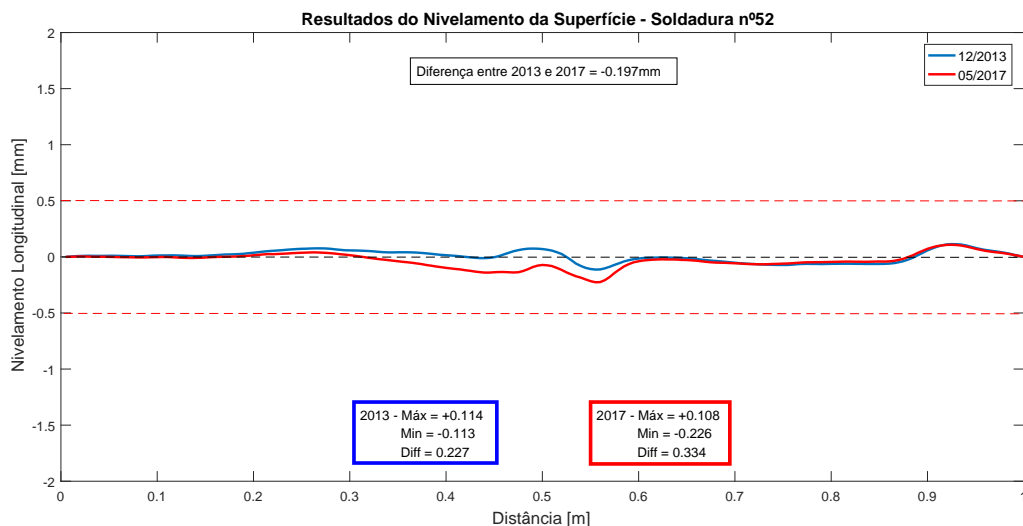


Figura A.26: Soldadura nº52 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.27 e A.28:

- Soldaduras (Vermelho)
- JIC (Azul)
- Defeito superficial (Verde)
- Fim de um aparelho de mudança de via (Amarelo)
- AMP's (entre nº2/nº3 e nº4/nº5)

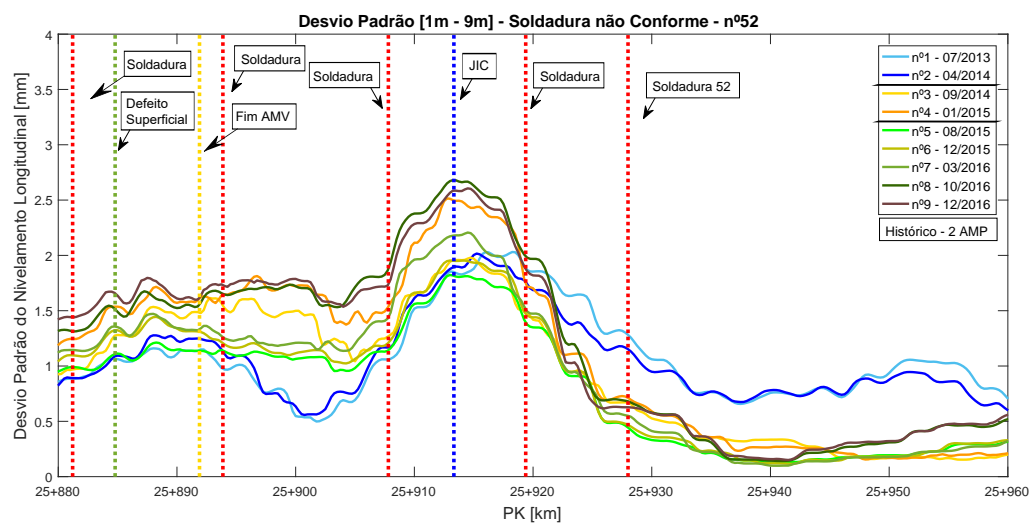


Figura A.27: Soldadura nº52 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

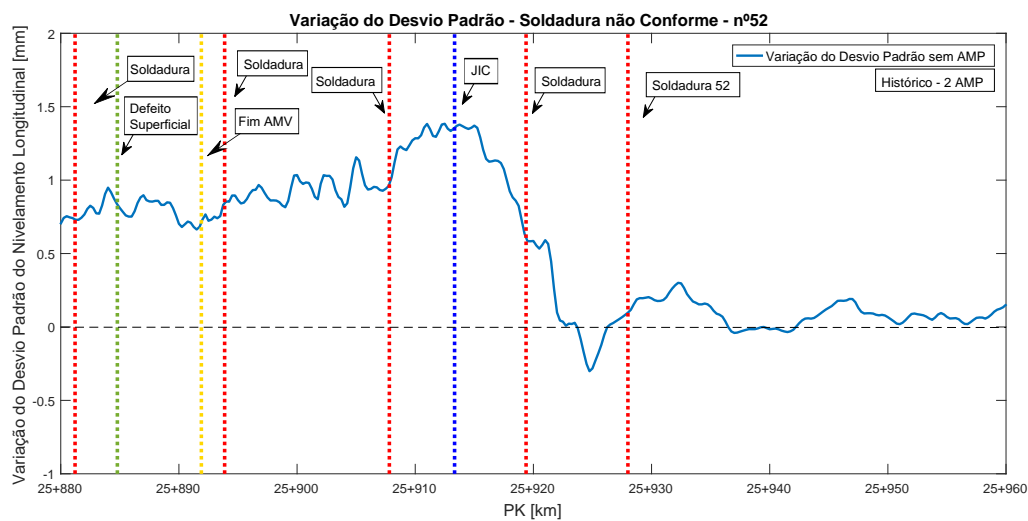


Figura A.28: Soldadura nº52 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº57

A soldadura nº57 trata-se de mais um caso inconclusivo, pelo que não é possível retirar qualquer conclusão acerca do seu comportamento na via. Estes valores de desvio padrão incomuns devem-se a esta soldadura pertencer a uma JIC. Tal como já havia sido explicado no Capítulo 5, esta é sujeita a ataques ligeiros locais não existindo qualquer informação acerca dos mesmos. Além disso trata-se de um conjunto de eventos todos muito próximos uns dos outros, podendo estes ter influência direta, como é o caso da influência da JIC na soldadura.

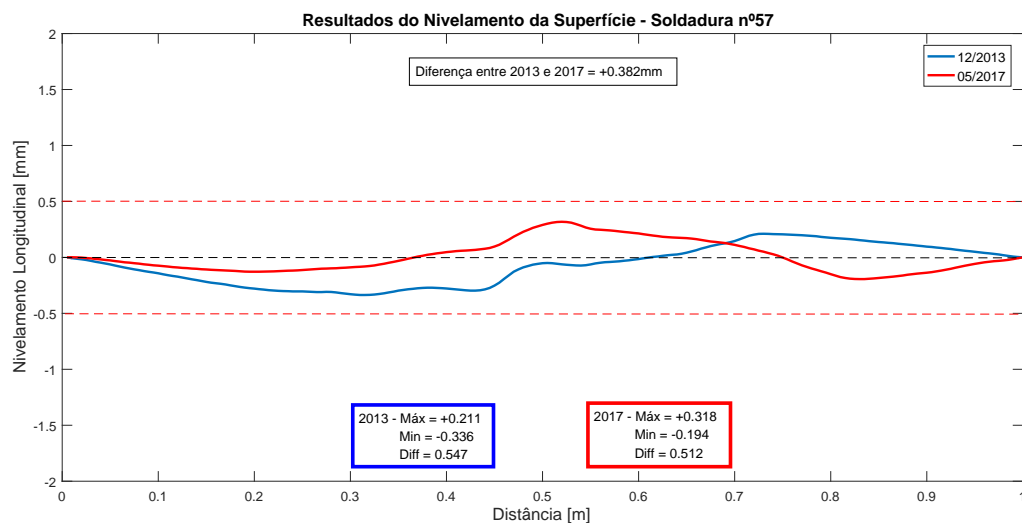


Figura A.29: Soldadura nº57 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.30 e A.31:

- Soldaduras (Vermelho)
- JIC (Azul)
- AMP's (entre nº1/nº2 e nº4/nº5)

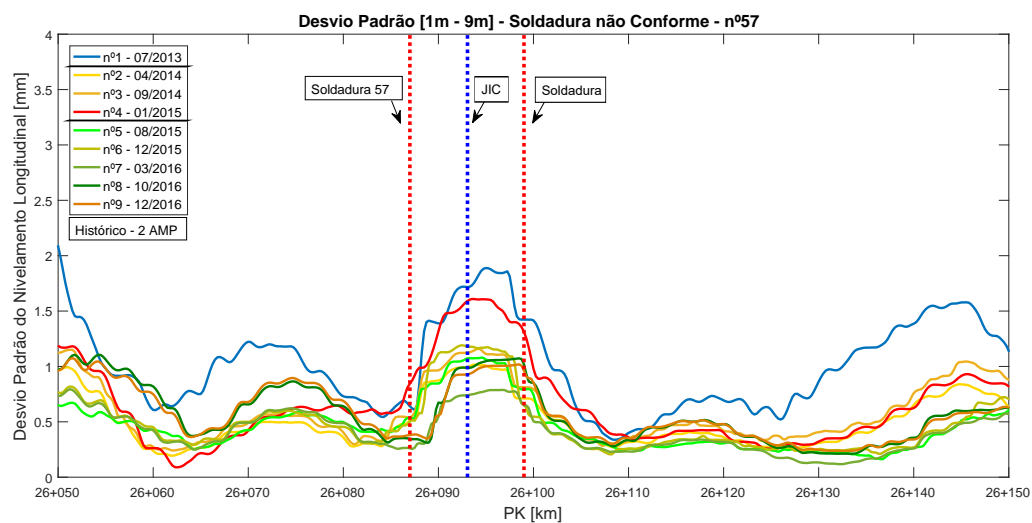


Figura A.30: Soldadura nº57 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

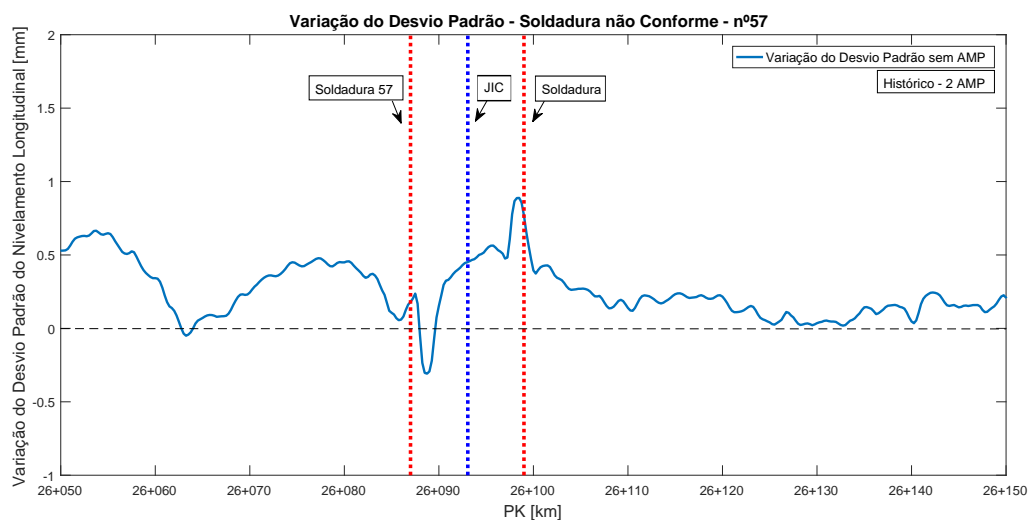


Figura A.31: Soldadura nº57 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº58

A soldadura nº58 trata-se de mais um caso inconclusivo, pelo que não é possível retirar qualquer conclusão acerca do seu comportamento na via, visto que esta pertence a uma JIC.

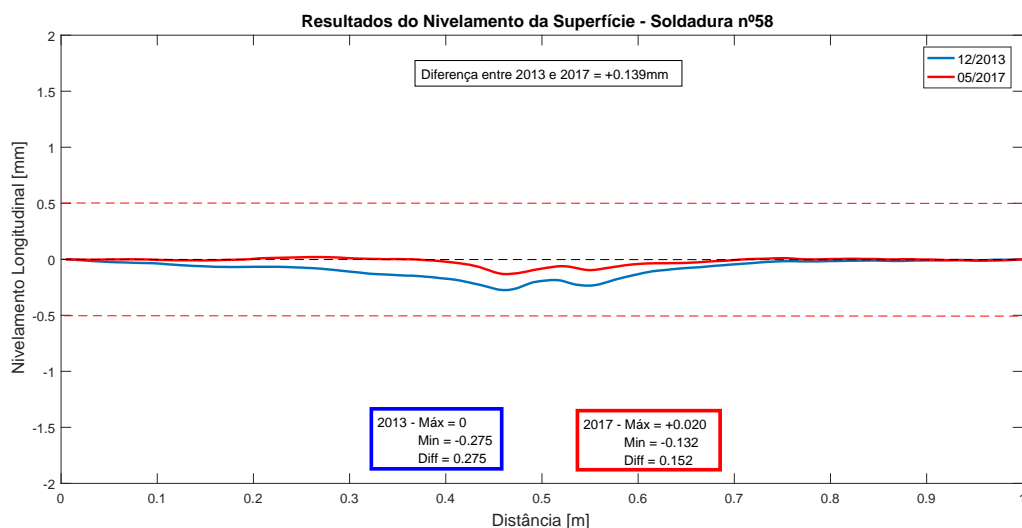


Figura A.32: Soldadura nº58 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.33 e A.34:

- Soldaduras (Vermelho)
- JIC (Azul)
- AMP's (entre nº2/nº3)

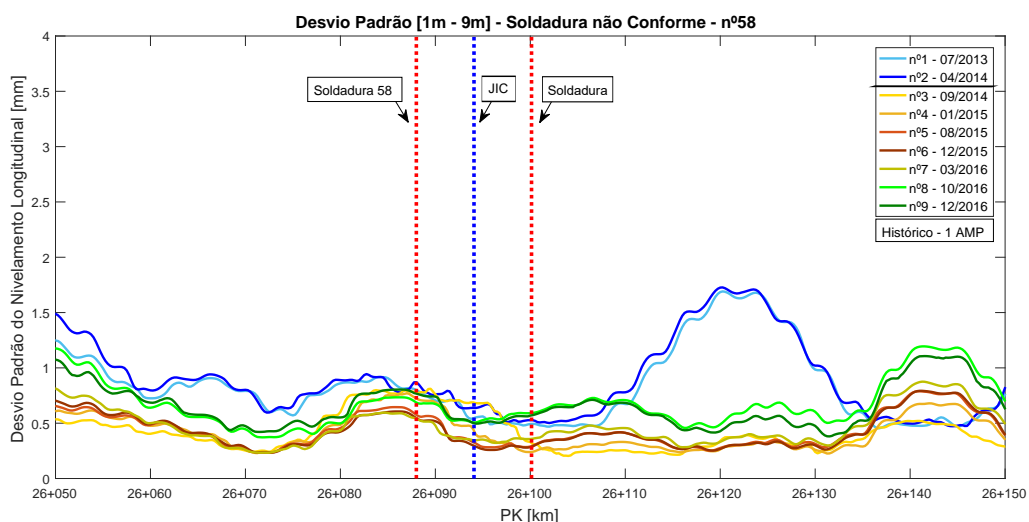


Figura A.33: Soldadura nº58 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

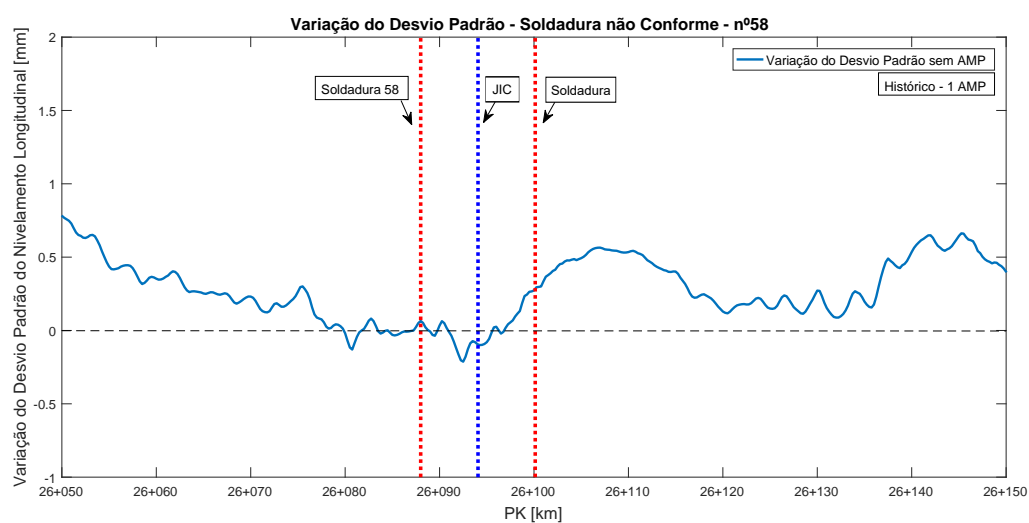


Figura A.34: Soldadura nº58 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº61

A soldadura nº61 trata-se de mais um caso inconclusivo, pelo que não é possível retirar qualquer conclusão acerca do seu comportamento na via, visto que esta pertence a uma JIC.

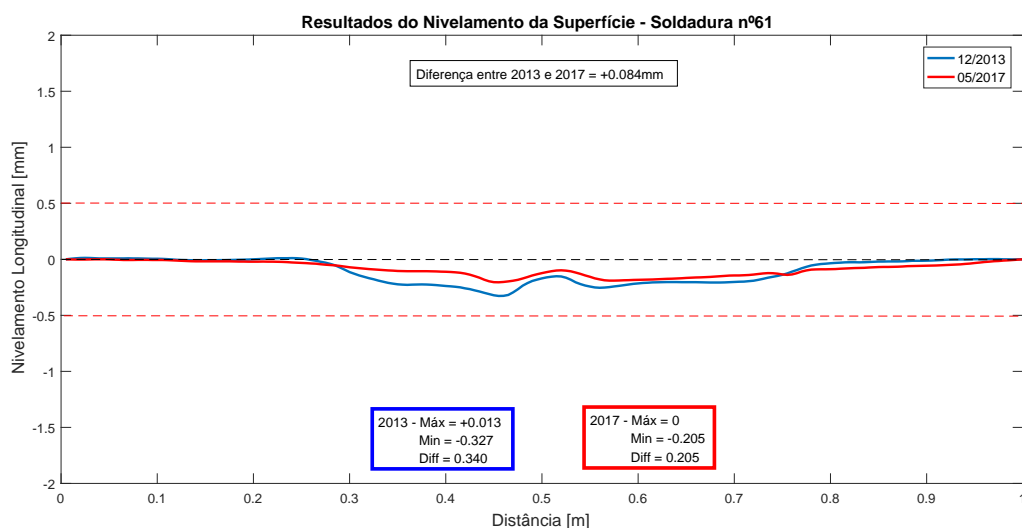


Figura A.35: Soldadura nº61 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.36 e A.37:

- Soldaduras (Vermelho)
- JIC (Azul)
- AMP's (entre nº1/nº2 e nº4/nº5)

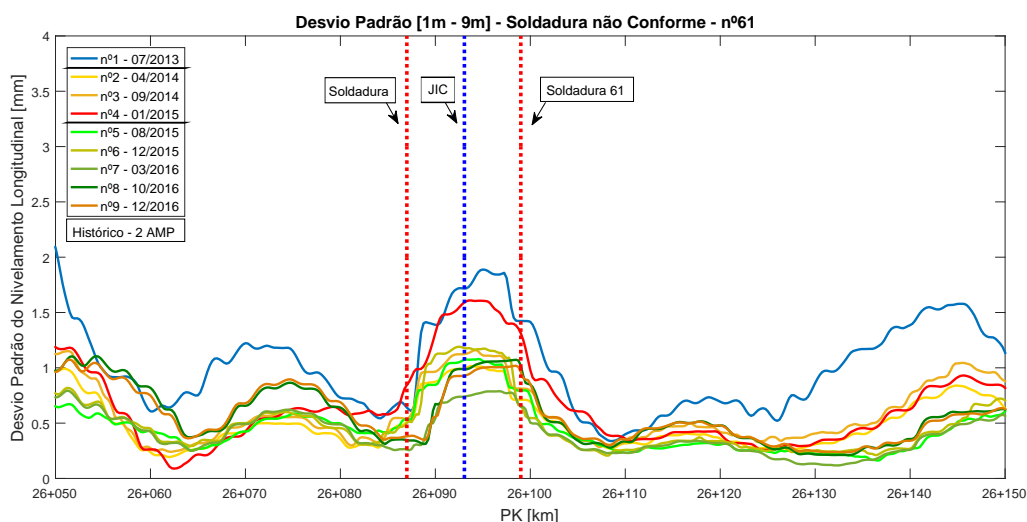


Figura A.36: Soldadura nº61 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

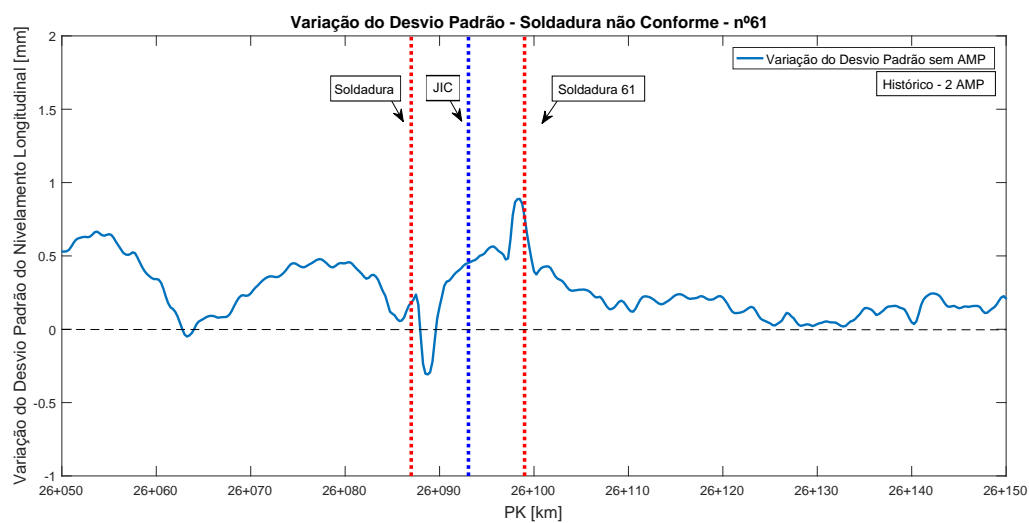


Figura A.37: Soldadura nº61 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº67

A soldadura nº67 trata-se de mais um caso inconclusivo, pelo que não é possível retirar qualquer conclusão acerca do seu comportamento na via, visto que esta pertence a uma JIC. Além de pertencer a uma JIC, os seus valores de desvio padrão também aparentam ser incomuns face ao nivelamento que esta tem aquando a medição da régua SECNET.

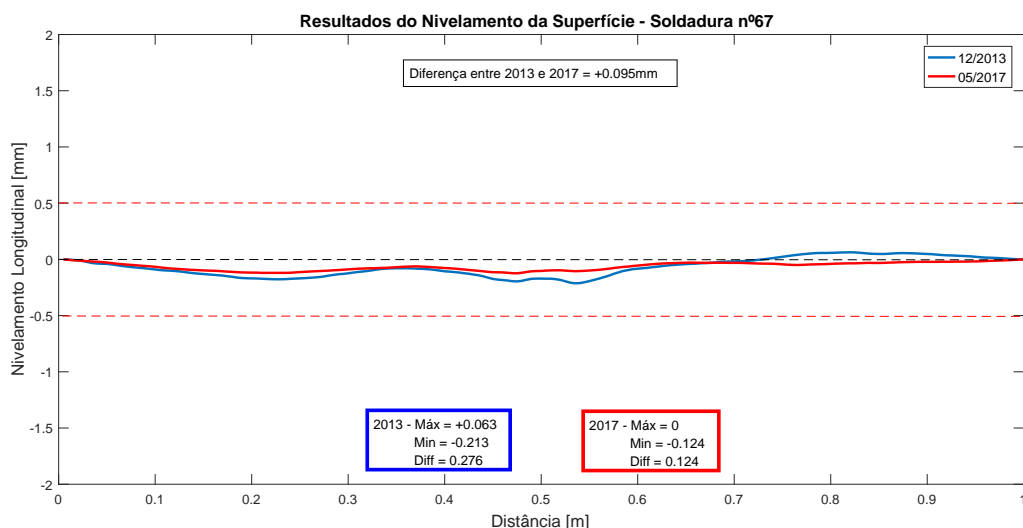


Figura A.38: Soldadura nº67 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.39 e A.40:

- Soldaduras (Vermelho)
- JIC (Azul)
- Cróssima (Roxo)
- Aparelho de mudança de via (Amarelo)
- AMP's (entre nº2/nº3)

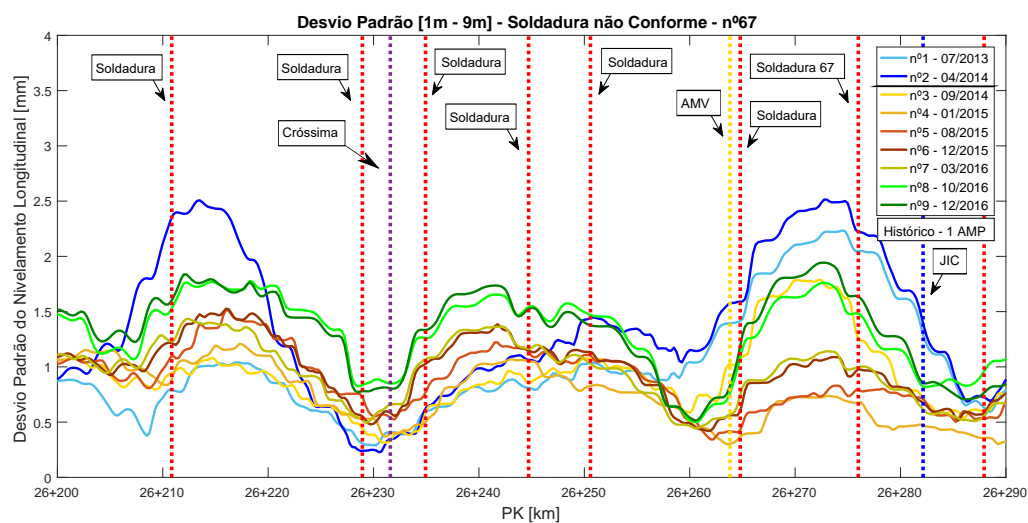


Figura A.39: Soldadura nº67 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

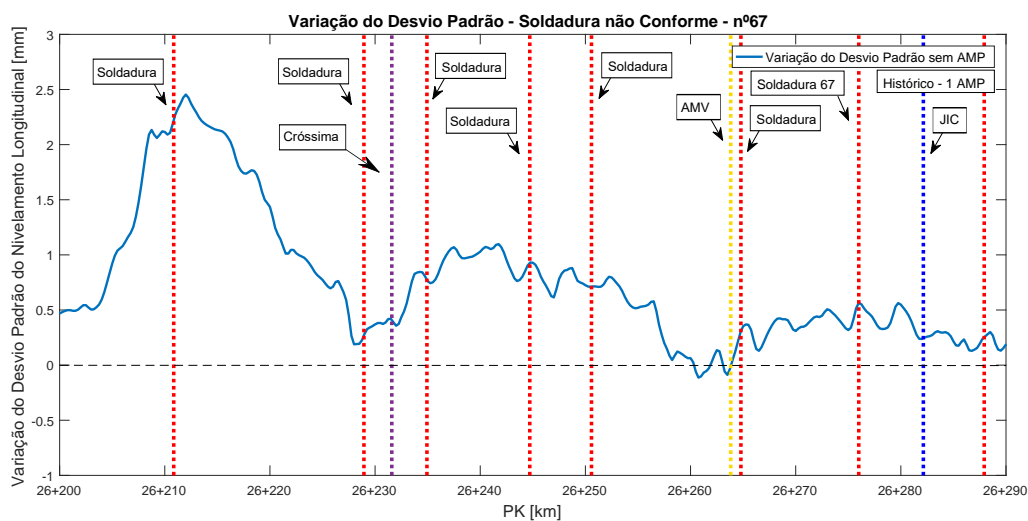


Figura A.40: Soldadura nº67 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº75

Esta soldadura apresenta-se como mais um caso inconclusivo, devido a apresentar valores de desvio padrão incomuns, podendo estar em hipótese algum problema relacionado com a infraestrutura.

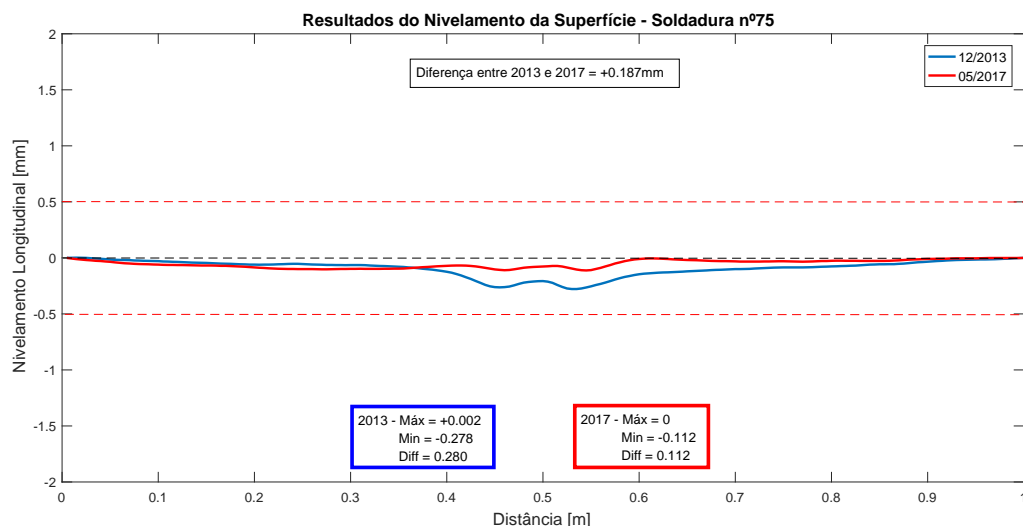


Figura A.41: Soldadura nº75 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.42 e A.43:

- Soldaduras (Vermelho)
- AMP's (entre nº2/nº3 e nº6/nº7)

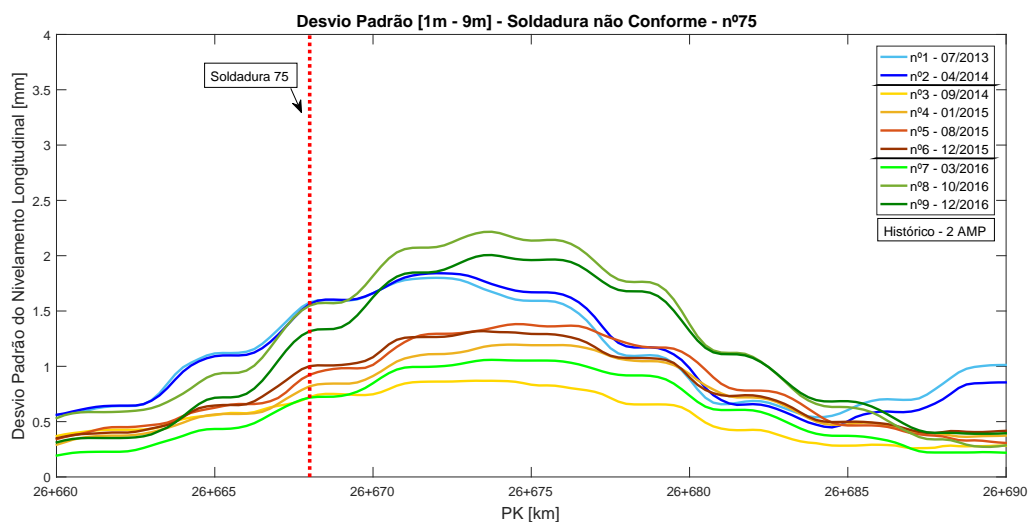


Figura A.42: Soldadura nº75 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

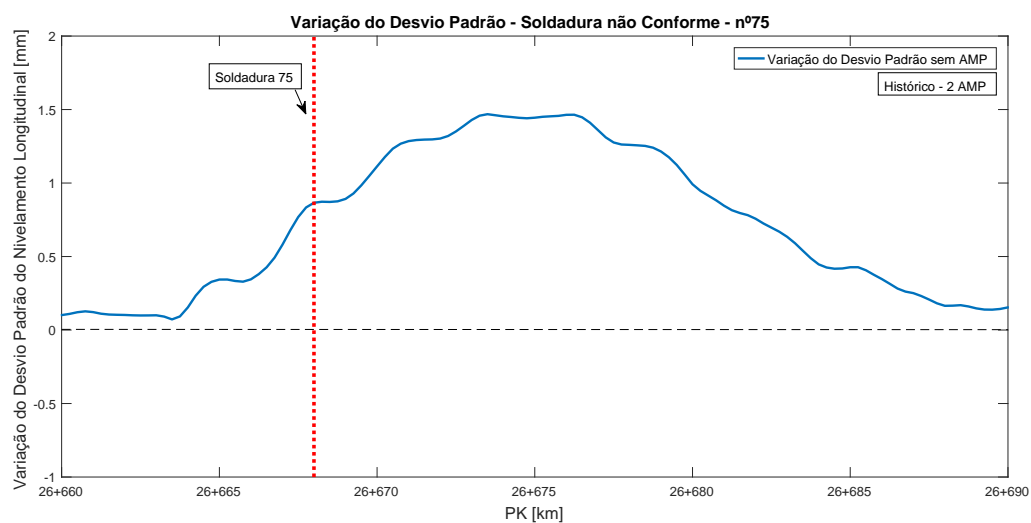


Figura A.43: Soldadura nº75 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº88

Esta soldadura apresenta ser um caso de comportamento negativo devido a apresentar valores de desvio padrão evidentes ao longo da sua análise, tal como apresentado no caso nº3, no Capítulo 5. Comparativamente ao caso nº3, esta apresenta valores bastante menores, no entanto consideram-se igualmente negativos face ao valor de nivelamento que esta soldadura apresenta na Figura A.44. No entanto, era expectável que esta soldadura, face ao valor de nivelamento obtido pela régua SECNET, apresentasse resultados de desvio padrão mais elevados.

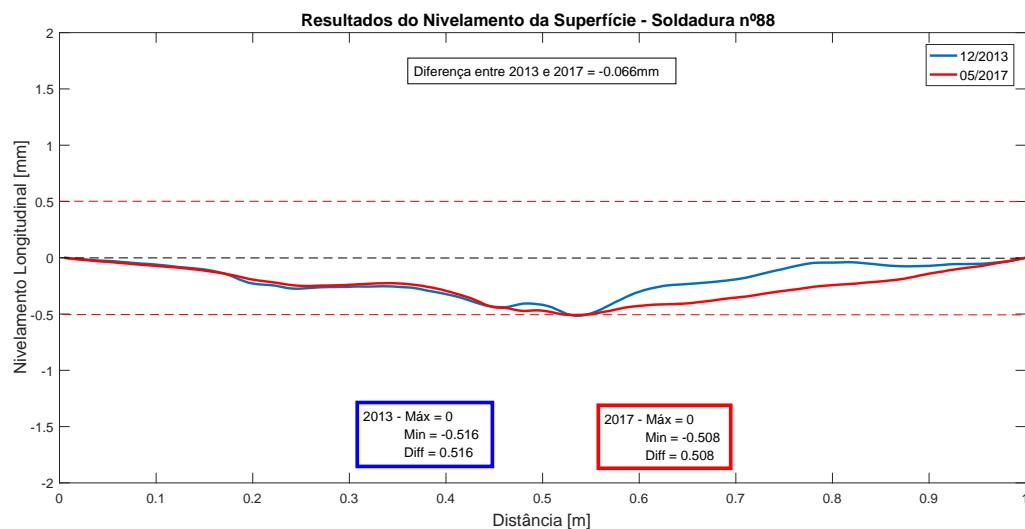


Figura A.44: Soldadura nº88 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.45 e A.46:

- Soldaduras (Vermelho)
- AMP's (entre nº2/nº3)

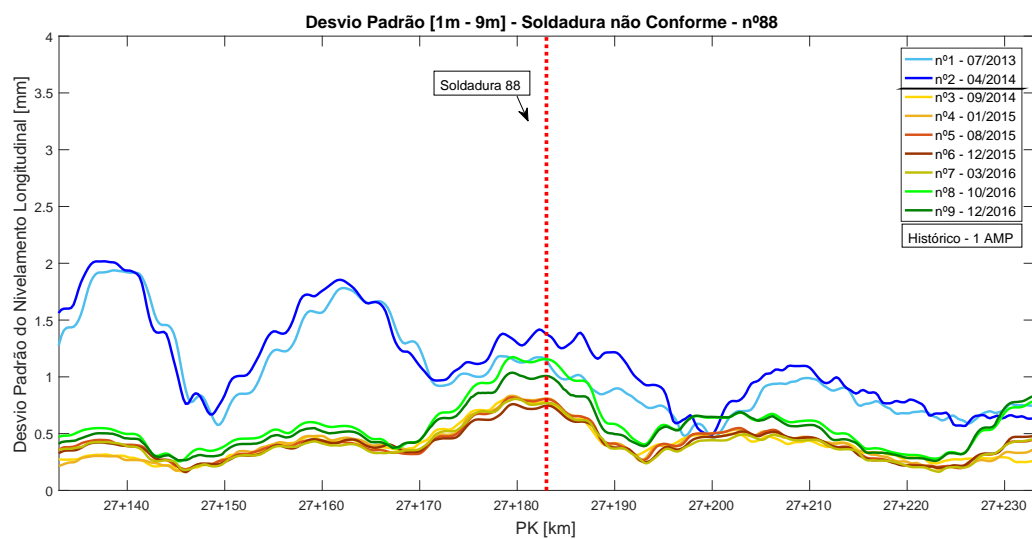


Figura A.45: Soldadura nº88 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

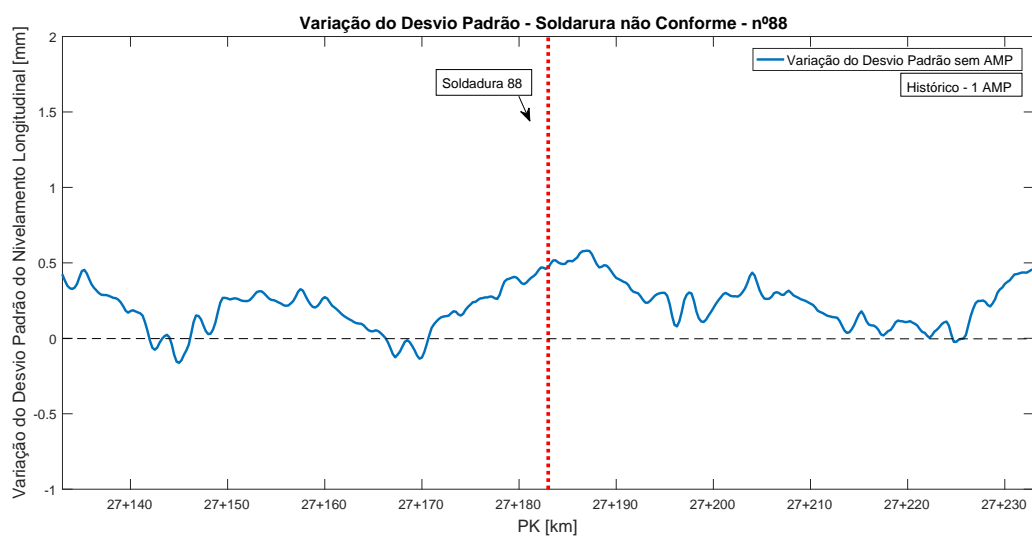


Figura A.46: Soldadura nº88 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº90

A soldadura nº90 trata-se de mais um caso com análise semelhante aos casos nº1 e nº2, apresentados no Capítulo 5. No entanto, apesar de ter sido classificada como não conforme, o seu nivelamento mostra-se com um valor bastante baixo e esta apresenta um comportamento positivo face à sua análise temporal.

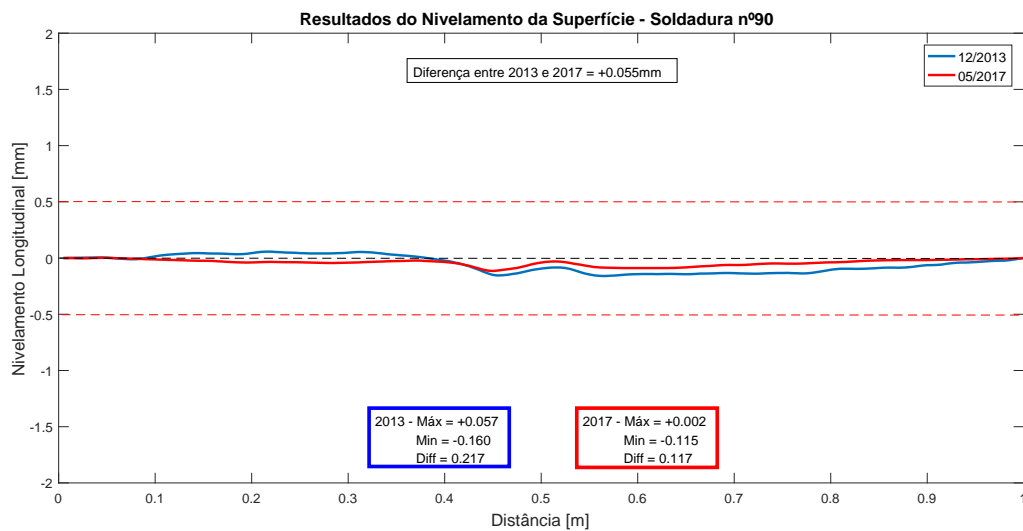


Figura A.47: Soldadura nº90 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.48 e A.49:

- Soldaduras (Vermelho)
- JIC (Azul)
- AMP's (entre nº1/nº2 e nº4/nº5)

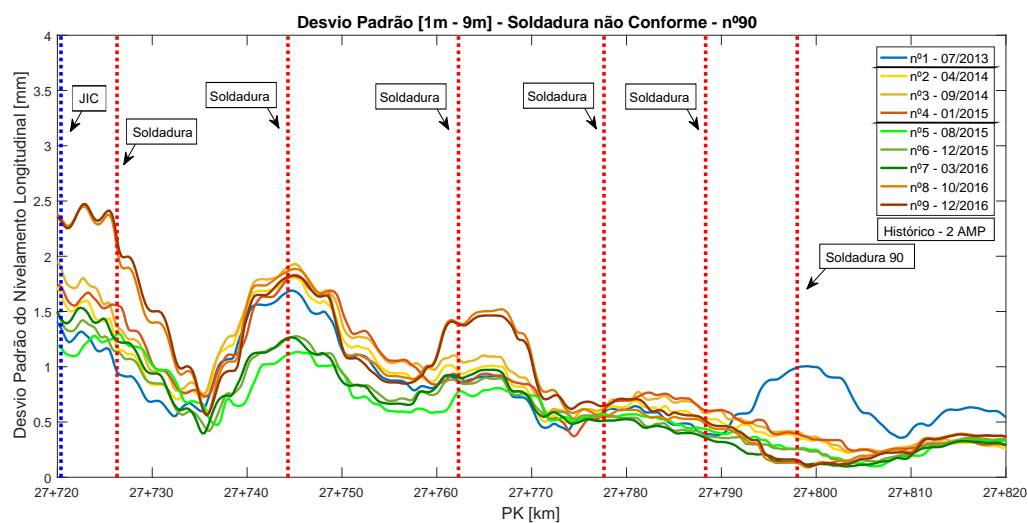


Figura A.48: Soldadura nº90 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

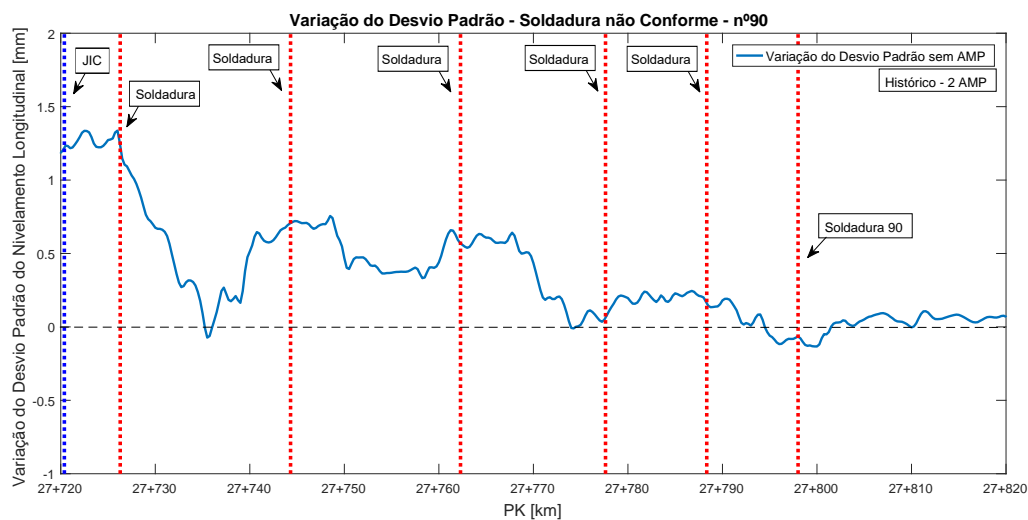


Figura A.49: Soldadura nº90 - Gráfico da evolução desvio padrão

Soldadura nº105

A soldadura nº105 trata-se de mais um caso inconclusivo, pelo que não é possível retirar qualquer conclusão acerca do seu comportamento na via, visto que esta pertence a uma JIC.

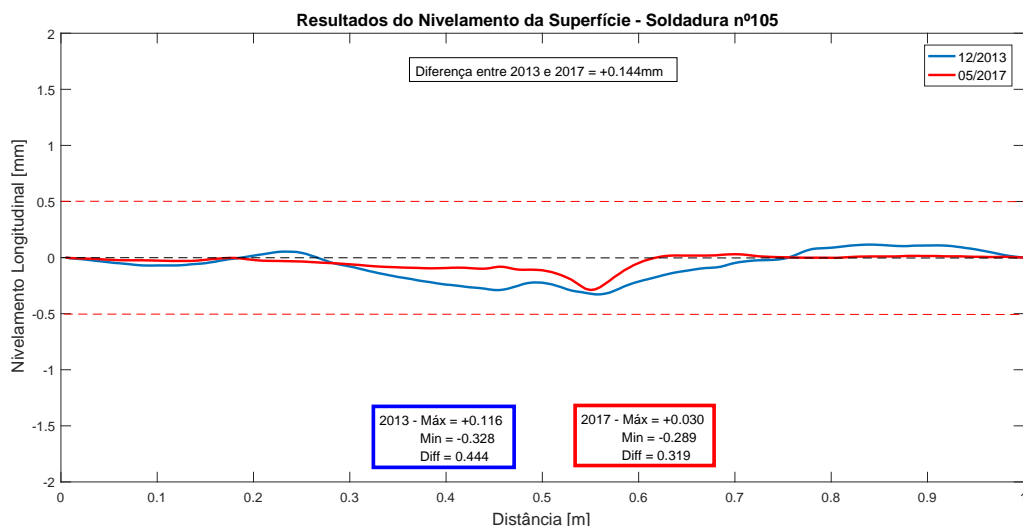


Figura A.50: Soldadura nº105 - Comparação entre medições de régua, obtida a azul em 2013 na sua execução e a vermelho em 2017

Legenda de eventos das Figuras A.51 e A.52:

- Soldaduras (Vermelho)
- JIC (Azul)
- AMP's (entre nº2/nº3 e nº6/nº7)

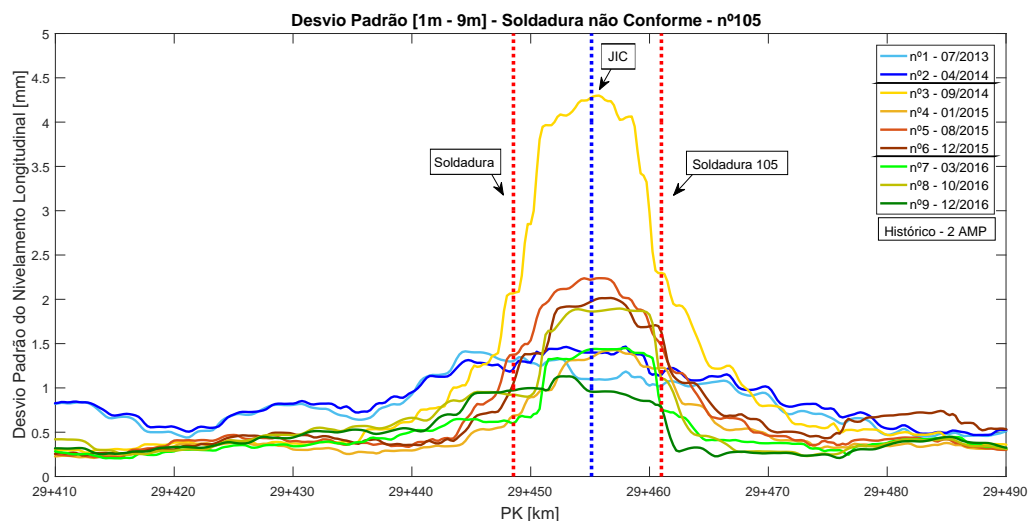


Figura A.51: Soldadura nº105 - Gráfico de desvio padrão calculado sobre as inspeções de nivelamento obtidas pela EM-120

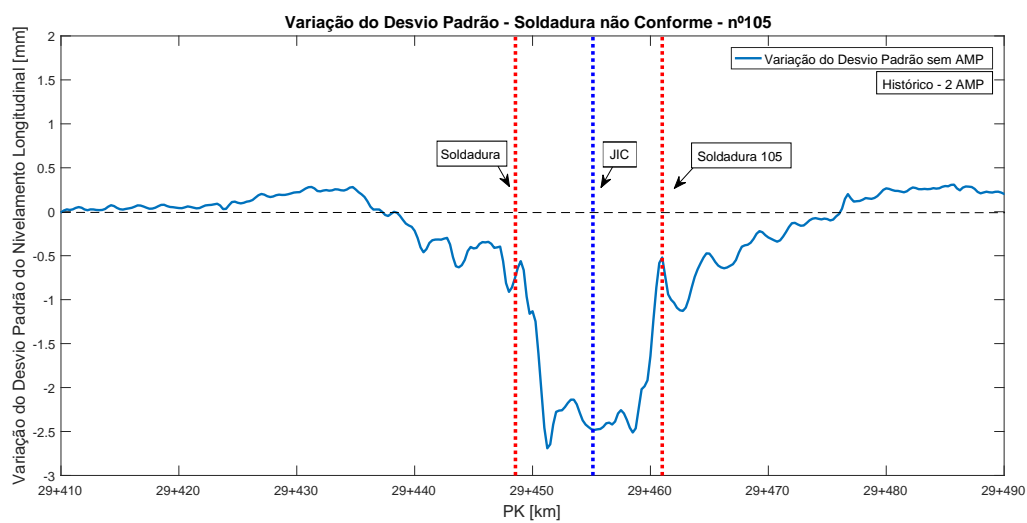


Figura A.52: Soldadura nº105 - Gráfico da evolução desvio padrão